tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 42 - nr. 3 - 1977

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Postbus 39, Leidschendam. Gironummer 94746 t.n.v.
Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

Het Genootschap stelt zich ten doel in Nederland en de Overzeese Rijksdelen de wetenschappelijke ontwikkeling en de toepassing van de elektronica en de radio in de ruimste zin te bevorderen.

Bestuur

Dr. Ir. W.Herstel, voorzitter
Prof.ir. E. Goldbohm, vice-voorzitter
Ir. G.A.v.d.Spek, secretaris
Ir. E. Goldstern, penningmeester
Ing. J.W.A.v.d.Scheer, programma commissaris
Ir. J.H. Huijsing
Dr.Ir. J.B.H.Peek
Prof.ir. C. Rodenburg
Prof.dr.ir. J.P.M. Schalkwijk

Lidmaatschap

Voor lidmaatschap wende men zich tot de secretaris. Het lidmaatschap staat -behoudens ballotage- open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt fl. 45,--.

Studenten aan universiteiten en hogescholen komen bij gevorderde studie in aanmerking voor een junior-lidmaatschap, waarbij 50% reductie wordt verleend op de contributie. Op aanvraag kan deze reductie ook aan anderen worden verleend.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt zesmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en van de telecommunicatie.

Auteurs die publicatie van hun wetenschappelijk werk in het tijdschrift wensen, wordt verzocht in een vroeg stadium kontakt op te nemen met de voorzitter van de redactie commissie.

De teksten moeten, getypt op door de redactie verstrekte tekstbladen, geheel persklaar voor de offsetdruk worden ingezonden.

De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt f 45,--. Aan leden wordt het tijdschrift kosteloos toegestuurd.

Tarieven en verdere inlichtingen over advertenties worden op aanvrage verstrekt door de voorzitter van de redactiecommissie.

Redactiecommissie

Ir. M.Steffelaar, voorzitter
Ir. L.D.J. Eggermont
Ir. A. da Silva Curiel.

DE EXAMENS

De examens door het Genootschap ingesteld en afgenomen zijn:

a. op lager technisch niveau:"Elektronica monteur NERG"
b. op middelbaar technisch niveau: Middelbaar Elektronica Technicus NERG"

Brochures waarin de exameneisen en het examenreglement zijn opgenomen kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij de Administratie van de Examencommissie.

Voor deelname en inlichtingen wende men zich tot de Administratie van de Examencommissie NERG, Genemuidenstraat 279, den Haag, gironummer 6322 te den Haag.

Examencommissie

Ir. J.H. Geels, voorzitter
Ir. F.F.T.v.Odenhoven, vice-voorzitter
Ing. A. de Jong, secretaris-penningmeester

OUTLINE OF ATS-6 PROPAGATION MEASUREMENTS OVER EUROPE

G. BRUSSAARD

ESTEC, Noordwijk

In the period July 1976 - October 1977 a campaign of propagation experiments at 13, 18, 20 and 30 GHz has been carried out, using the ATS-6 satellite, placed at 35°F longitude. The paper presents a brief description of the spacecraft and its payload. An outline of the experiments carried out in Europe is given. The coordination of these experiments by the European Space Agency is described. Finally, an evaluation of the campaign is given.

1. BACKGROUND

ATS-6 (fig. 1) is the last of a series of Applications Technology Satellites launched by NASA since December 1966. These multi-mission satellites carry a large variety of experiments and are designed to prove and forward new technologies. ATS-6 is the only three-axis stabilised geostationary satellite in the series. It was launched in spring 1974 and placed at 95° W for one year. It was moved to 35°E in June 1975, where its primary mission was an experimental demonstration of an educational satellite T.V. system in India. (SITE). As these transmissions lasted only some 8 hours per day, the satellite could be made available for other experiments as well.

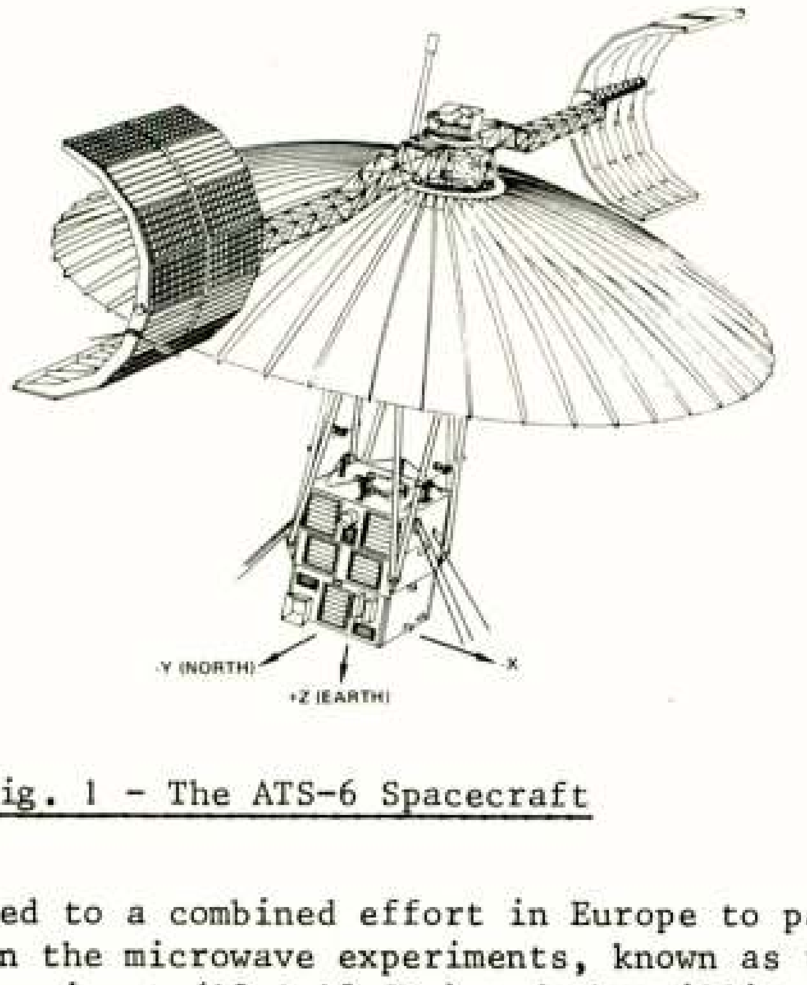


Fig. 1 - The ATS-6 Spacecraft

This led to a combined effort in Europe to participate in the microwave experiments, known as the COMSAT experiment (13 & 18 GHz) and the millimeter wave (MMW) experiment (20 & 30 GHz).

The European experiments lasted from August 1975, to October 1976, when the satellite sank below the horizon on its way to its new position at 105°W. European participation was coordinated by the European Space Agency, which also acted on behalf of the experimenters in contacts with NASA.

2. THE SPACECRAFT

ATS-6 is a complicated spacecraft. The most striking features are its deployable structure (fig.2) and its dimensions after deployment (16 m wide, 8 m high). On Fig. 1 the following elements can be distinguished :

1/ Environmental Measurements Experiments (EME)
2/ Solar arrays with VHF omni antennas
3/ 10m diameter parabolic reflector
4/ Support structure
5/ Earth viewing module : - Feed array
- Communications module
- Service module
- Experiments module

Attitude control is by momentum wheels and hydrazine thrusters in all three axes. Yaw, pitch and roll references are provided by a variety of systems, among which are a monopulse system at VHF, S and C band for station pointing, and an interferometer at 6 GHz.

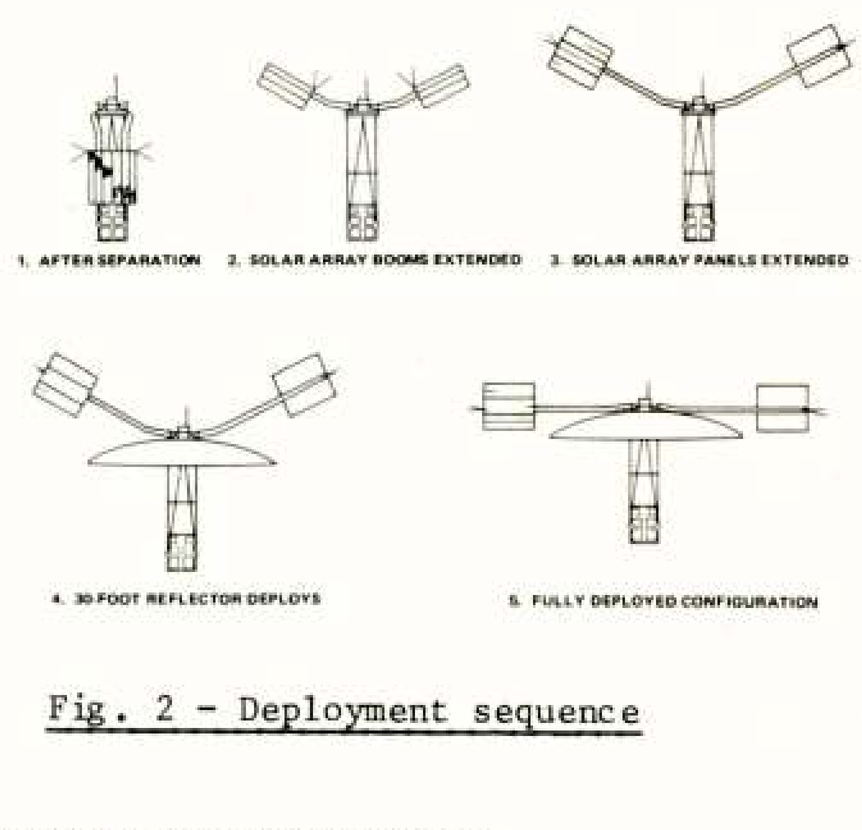


Fig. 2 - Deployment sequence

3. COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

The radiocommunications experiments are listed in table 1. For this large variety of experiments the satellite is equipped with a versatile transponder, which can connect any one of the input signals to any output via a switching matrix, using any one of three identical I.F. amplifiers (fig. 3).

- Television Relay Using Small Terminals (TRUST)
- Satellite Instructional TV Experiment (SITE)
- Health, Educations, Telecommunications (HET)
- Position Location and Aircraft Comm. Exp. (PLACE)
- Tracking and Data Relay Experiment (TDRE)
- Radio Frequency Interference Experiment (RFI)
- Millimeter Wave Experiment (MMW)
- Comsat Propagation Experiment(COMSAT)

Table I - Communication Experiments

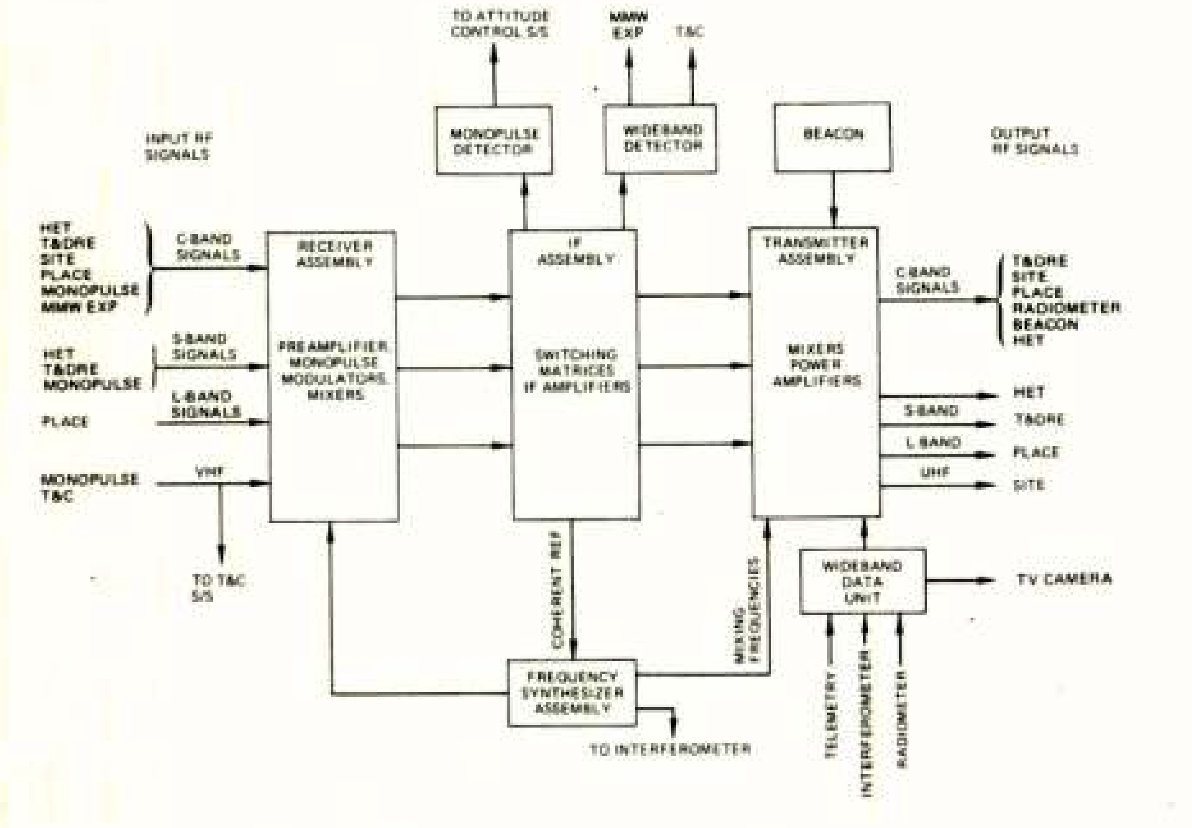


Fig. 3 - Transponder Signals

The various experiments use different combinations of up- and down link frequencies.

The TDRE and RFI experiments use the S/C capability to track radio transmitters in S band. The T.V. experiments (HET, TRUST, SITE) are designed to study the feasibility of a variety of satellite T.V. applications.

The PLACE experiment for aeronautical and maritime applications using L-band has been carried out also during the second year of operations. Participation in Europe included France, Germany and ESTEC.

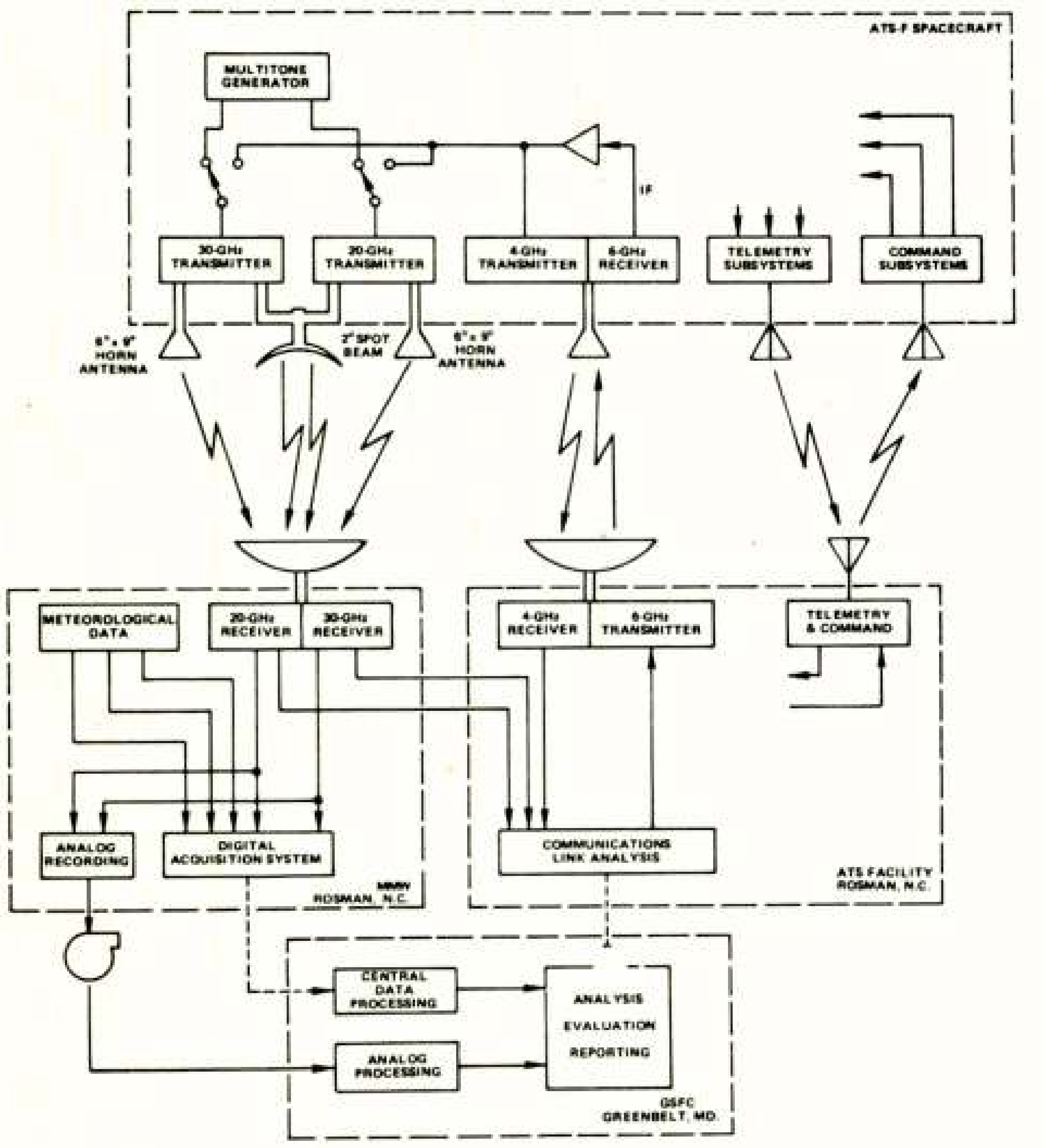


Fig. 4 - The MMW Experiment

The MMW experiment is a propagation and communication experiment at 20 and 30 GHz (fig. 4).

The satellite transmits beacon signals at these frequencies which can be modulated to provide a multiple line spectrum. Also it is possible to cross-strap the 6 GHz receiver band at I.F. to the 20/30 GHz transmitter to provide a millimeterwave communications transponder.

The COMSAT 13/18 GHz experiment is a transmit experiment. A total of 40 lines can be transmitted to the satellite in the 13 and 18 GHz bands via simple ground stations (fig. 5). These lines are retransmitted by the satellite as a compact spectrum of 40 lines at 4 GHz and received by a large groundstation equipped with an automatic data acquisition system (DAQS ; fig. 6).

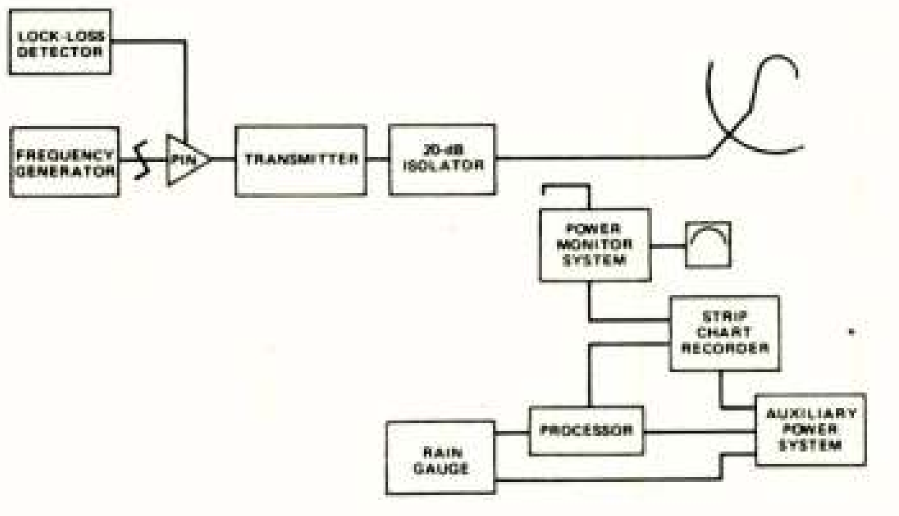


Fig. 5 - GTT Block Diagram

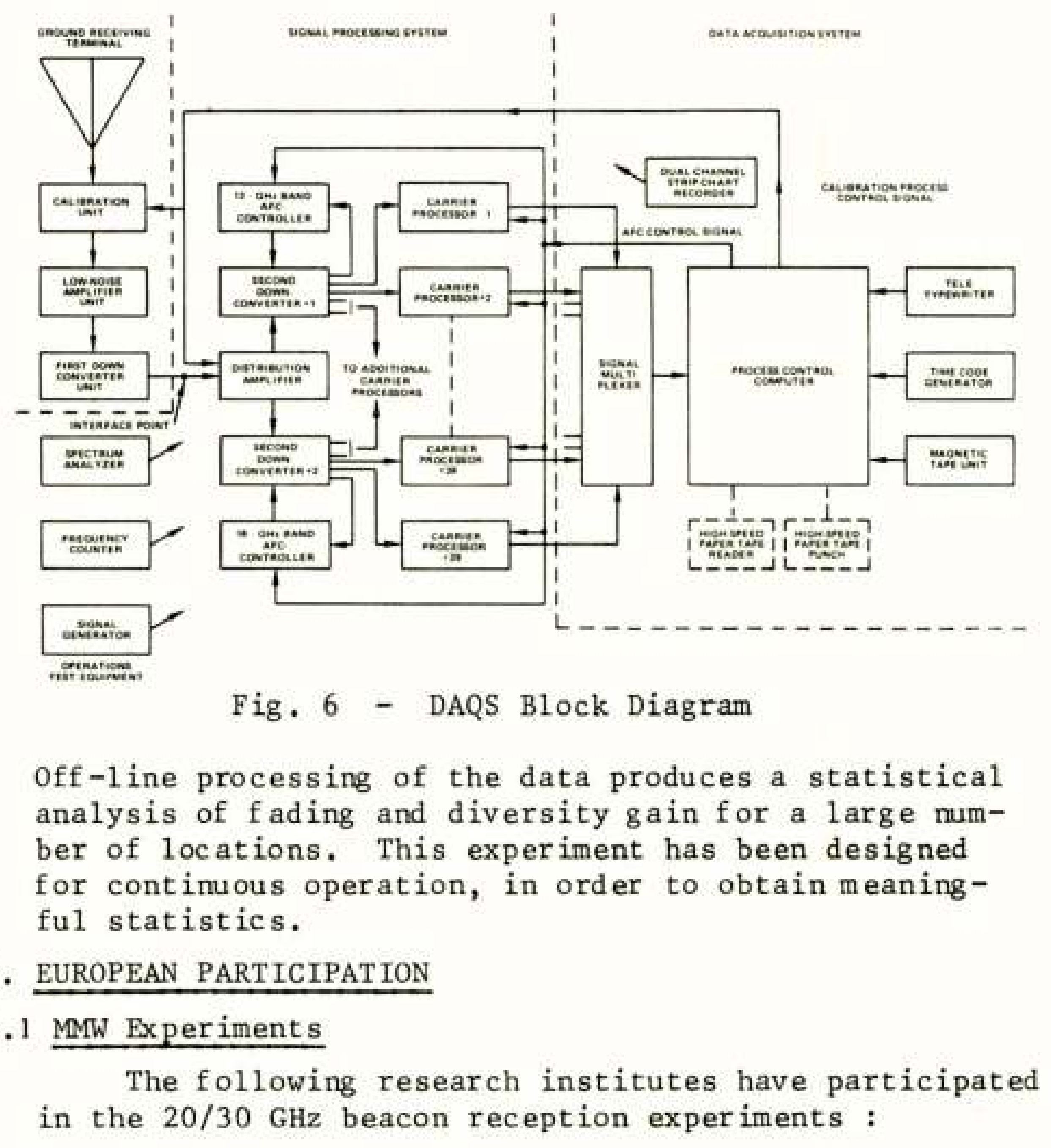


Fig. 6 - DAQS Block Diagram

Off-line processing of the data produces a statistical analysis of fading and diversity gain for a large number of locations. This experiment has been designed for continuous operation, in order to obtain meaningful statistics.

4. EUROPEAN PARTICIPATION

4.1 MMW Experiments

The following research institutes have participated in the 20/30 GHz beacon reception experiments :

1. University of Bradford
2. University of Birmingham
3. British Post Office Research Centre, Martlesham
4. SRC Appleton Laboratory, Slough
5. Dr. Neherlaboratory of the Netherlands P.T.T., Nederhorst den Berg.
6. Technical University of Eindhoven
7. Shape Technical Centre, The Hague
8. Centre National des Etudes de Télécommunications, Paris
9. Bundespost FTZ, Darmstadt, Germany
10. Technical University, Graz
11. Technical University, Helsinki

All these institutes participated in the measurements using own equipment, with ground station antennas of 3 - 10 m diameter in general. The high satellite EIRP enabled experimenters to measure attenuation and crosspolarisation with a very large dynamic range using rather simple receiver equipment.

4.2 COMSAT Propagation Experiment

For the comsat experiments special ground transmitting terminals (GTT) had been built by NASA as well as a large data acquisition system (DAQS).

An agreement was reached between ESA and NASA for the loan of this equipment.

GTT's were placed in the following locations :

Plymouth	(Polytechnic)
Slough (3)	(Appleton Lab)
Bradford	(University)
Darmstadt (3)	(FTZ)
Eindhoven	(Techn. University)
Fucino	(Telespazio)
Graz	(Tech. University)

A receiving station was set up and operated by C.T.N.E. in Buitrago, Spain. Data reduction and analysis is carried out by COMSAT labs.

5. COORDINATION OF EUROPEAN EXPERIMENTS

The coordination of both propagation experiments was carried out by ESTEC.

5.1 MMW Experiment

For the MMW experiment this coordination included :

1. Issue of experiment schedules received from NASA.
2. Calculation and distribution of look-angles for the individual stations.
3. Exchange of fade observations.
4. Collecting observations on anomalous spacecraft behaviour.
5. Request for information to NASA.
6. Distribution of information on spacecraft behaviour received from NASA.

For the distribution of all the information a weekly information bulletin by telex was issued by ESTEC. This bulletin has functioned very satisfactorily throughout the duration of the experiments.

5.2 COMSAT Experiment

Coordination of the COMSAT experiment was of a different nature. Supervision of European experiment by ESA included :

1. Agreement with NASA for the loan of NASA equipment.
2. Control of a pool of spare parts for the equipment.
3. Contract with CTNE for the operation of the ground-station and DAQS.
4. Contracts with the experimenters for the operation of GTT's.
5. A contract with COMSAT labs. for the data analysis.

The cost of this experiment were borne partially by ESA and partially by the experimenters together. Coordination of the experiment by ESA also included technical assistance on installation and maintenance and ensuring good communication between CTNE, COMSAT and the experimenters.

6. EVALUATION OF THE OPERATIONS

6.1 MMW

As a whole the MMW experiments have been very successful. A number of problems have appeared which were not foreseen :

a) The Polaris sensor of the s/c failed in September '75 resulting in reduced s/c stability in yaw. Roll and pitch instabilities occurred occasionally as well. These resulted in instabilities both in the copolar and crosspolar signals. NASA assistance in identifying these anomalies was very effective.

b) Satellite tracking was done under program track by most stations. This turned out to be more complicated than anticipated, but very valuable experience was obtained in this respect.

c) The 20 GHz s/c transmitter failed in June 1976 and as a result a number of experimenters have not been able to do measurements during s/c drift to 105°W starting August 1976.

6.2 COMSAT Experiment

The COMSAT experiment has turned out to be far more complicated than anticipated. Power supply problems prevented the continuous operation of the experiment and only some 10 hours per day could be obtained.

In the experiments various causes for signal instabilities exist :

a) Fixed pointing of GTT antennas
b) S/c thermal instabilities
c) Receiving ground station instabilities
d) Ground station tracking

The first three gave rise to diurnal variations, which were difficult to correct in the analysis as no 24 hour continuous periods of data were available and the s/c does not carry a reference beacon at 4 GHz. Tracking at Buitrago had to be done manually. This caused repeated jumps in recorded signal level which turned out to be difficult to treat in the analysis.

The results of the COMSAT experiments in Europe will serve to calibrate radiometer measurements and analyse frequency dependence and behaviour of individual fades.

As a whole the entire European operation has been very valuable and provided both experimenters and ESTEC with experience which can be used in preparations for the OTS campaign starting in 1977.

Voordracht gehouden op 1 december 1976 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 260) de Sectie Telecommunicatie-Techniek van het KIvI en de Benelux section IEEE.

KLEINE GOEDKOPE ONTVANGINSTALLATIES VAN ATS-6 IN DE V.S. EN INDIA

Ir.J.W. Edens

N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken, Eindhoven

In this paper experiments are described on reception of 2.6 GHz (U.S.A.) and 860 MHz (India) programmes, transmitted by the ATS-6 satellite for direct TV reception. In total, 7 terminals did take part in the experiment in the U.S.A., while 5 terminals have been used for experiments in India. The properties of these terminals and the power budgets are evaluated in this paper, while also some results gained during these experiments are discussed. In order to show the impact of this new medium on future daily life, some attention is also paid to the software.

1. INLEIDING

De uitgebreide ontvangproeven die met behulp van de ATS-6 zowel in de Verenigde Staten (HET=Health and Educational Television) als in India (SITE= Satellite Instructional Television Experiment) gehouden zijn, gaven niet alleen aanleiding tot het uitvoerig testen van ontvanginstallaties, het doen van propagatieproeven en het verkrijgen van ervaringen met het geven van opdrachten aan de satelliet, maar werden ook op uitgebreide schaal gebruikt voor het doen van experimenten op educatief gebied met behulp van dit nieuwe medium. Er zal dan ook in dit artikel aan dit laatste facet enige aandacht besteed worden, ofschoon de hoofdaandacht toch op het technische aspect van deze experimenten gericht zal blijven. Opgemerkt dient nog te worden, dat de N.V. Philips de enige industrie was buiten de officiële instanties zoals N.A.S.A. (Verenigde Staten) en I.S.R.O. (India) die aan deze ontvang experimenten deelnam.

2. ALGEMEEN

Een installatie bestemd voor het ontvangen van satelliet omroep bestaat in het algemeen uit een (parabolische) antenne, een hieraan bevestigde frequentie convertor, een FM-AM convertor en een normale TV ontvanger, fig.1.

In tabel 1 worden deze onderdelen achtereenvolgens gespecificeerd, terwijl in tabel 2 het vermogensbudget van beide ontvangsystemen weergegeven is.

Tabel 1. Voorlopige specificatie

	2.6 GHz	0.86 GHz
Antenna		
Diameter	3.05 m	3.05 m
Gain	35 dBi	26 dBi
Polarization	circular	circular
H.P.B.W.	2.2°	6.6°
Adjustment:		
azimuth	± 5°	± 5°
elevation	± 30°	20°-45° in steps of 2.5°
Hour angle	0°	0°
Mounting time	2 man hours	2 man hours
Constr.parabola	9 mm wire netting	9 mm wire netting
Frequency conv. (outdoor unit)		
Min.input level for threshold	-115.2 dBW	-116.9 dBW
Gain	53 ± 2 dB	45 ± 1.5 dB
Noise figure	5.5 dB	4 dB
VSWR input	matched for min.noise	matched for min.noise
IF output freq.	120 MHz	120 MHz
Min.output level	-62 dBW/75 Ω	-72 dBW/75 Ω
D.C.power supply via centre conductor coax cable	24V,110 mA	24V,80 mA
Environmental	-25°C to +60°C	-25°C to +60°C
FM-AM converter (indoor unit)		
Input power range	-65 dBW±10dB/75Ω	-70dbW±10dB/75Ω
Remod.RF output	-57.5dBW±10dB/75Ω simultaneously on ch.7,9,11+13	-57.5dBW±10dB/75Ω on a VHF channel+ one out of 2 sound channels
Video output	$1V_{pk-pk}$	$1V_{pk-pk}$/75Ω
Sound output	FM mod.carriers on 4.5 MHz FM deviat.53kHz level 400-600mV	choice of one out of 2 sound channels $2V_{pk-pk}$
Environmental	10°C to 40°C	10°C to 50°C
D.C.Power consumption terminal	25W	17W

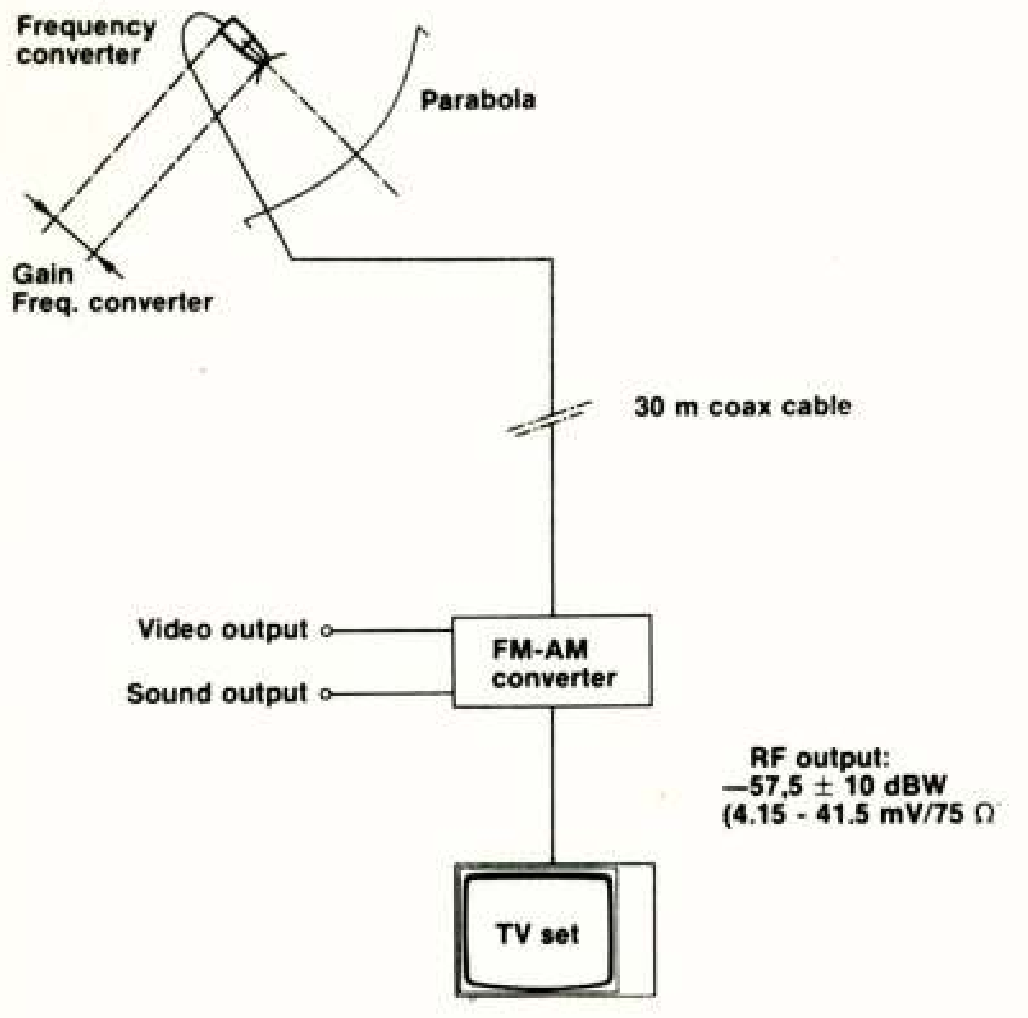


Fig.1. Blok diagram van een terminal

Tabel 2. Vermogensbudget

Reception of	ATS-6	ATS-6
Experiments together with:	NASA,Fed.of R.M. States, U.S.A.	ISRO, India
Frequency	2.6675 GHz and 2.5667 GHz	0.86 GHz
Satellite power	11.5 dBW	19 dBW
Satellite ant.gain	39.5 dBi	32 dBi
Receiver ant.gain	35 dBi (3.05 m)	26 dBi (3.05 m)
Path loss	-192.0 dB	-182.4 dB
Pointing losses	- 1 dB	- 0 dB
Tropospheric fading	- 1.5 dB	- 1 dB
Carrier power at receiver input	-108.5 dBW	-106.4 dBW
T system	29.1 dB°K	27.4 dB°K
IF bandwidth	74.8 dBHz	74.8 dBHz
$N_{BIF}=kT_SB$	-124.7 dBW	-126.4 dBW
C/N (clear weather, beamcentre)	16.2 dB	20.0 dB
$(S/N)_{weighted}$ (clear weather beam centre)	51.1 dB	52.0 dB
Signal loss at rim of footprint	- 3 dB	- 3 dB
by rain	- 1 dB	0 dB
by deformation of the antenna by storm	- 1.5 dB	- 0.5 dB
C/N, unfavourable conditions	10.7 dB	16.5 dB
$(S/N)_{weighted}$ unfavourable conditions	45.6 dB	48.5 dB

Evaluatie van de 2 systemen geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen:

1. De 3 dB breedtes van de uitgezonden bundel, gevormd door de 10 m ∅ zendantenne voor 2,6 GHz en 860 MHz waren respectievelijk 1,0° en 2,8°, resulterend in een breedte van de bundel op aarde van respectievelijk 600 en 1700 km.
2. Nieuwe ontwikkelingen in halfgeleiders geven aanleiding tot de verwachting dat de ruisfactor van de ontvangers in de toekomst wat lager zal zijn.
3. De ongunstige omstandigheden d.w.z. de 3 dB reduktie van het signaal op de rand van de bundel, met de extra demping t.g.v. de regen en het signaalverlies veroorzaakt door zware stormen, zullen waarschijnlijk zelden tegelijk optreden en geven dus een te pessimistisch beeld.
4. Het hoge energieverbruik van de 2,6 GHz installatie wordt veroorzaakt door het simultane gebruik van 4 televisiekanalen.
5. Zelfs onder de meest ongunstige condities is de C/N verhouding bij 860 MHz nog ruim 6 dB boven de FM drempel, d.w.z. met een 1,5 m antenne zouden ook nog redelijke resultaten bereikt zijn. Echter moet er wel rekening mee worden gehouden, dat in India en wel speciaal in de omgeving van Ootacamund grote variaties in signaalsterkte kunnen optreden tengevolge van scintillatie effecten. Hiervan zijn nog geen gegevens binnen.
6. Gerealiseerd moet worden, dat deze resultaten verkregen werden met installaties die ontworpen zijn met normale, in massa geproduceerde onderdelen, d.w.z. gebaseerd op goedkope, "niet professionele" construkties. Fabrikage van dergelijke installaties in massa, geconstrueerd met een antenne diameter van ongeveer 80 cm, zou een produkt op kunnen leveren dat in totaal ongeveer 1,5 x duurder is dan een 26" zwart/wit apparaat.

Bij alle metingen zowel in de V.S. als in India werden de omgevingstemperatuur in de buurt van de frequentieconvertor alsmede de signaalsterkte geregistreerd teneinde de invloed van de temperatuur op de versterking van de convertor na te gaan. Bovendien werden in een aantal gevallen de windsnelheid en regenval geregistreerd om respectievelijk een indruk te krijgen van de stevigheid van de antenne constructie en van de invloed van regen op de propagatie en de installatie.

3. EXPERIMENTEN IN DE V.S. ("HET" EXPERIMENT 2,6 GHz VAN MEI 1974 - MEI 1975

Doel: Het verbeteren van communicatie in die gebieden, waar om financiële of technische redenen communicatie met klassieke middelen moeilijk is (Alaska, Rocky Mountain States) alsmede om door het toepassen van deze nieuwe technieken bepaalde problemen sneller en gemakkelijker te kunnen oplossen (o.a.bij medische toepassingen).

Het "HET" experiment was een gemeenschappelijke serie proeven met "hard- en software" van de NASA en het departement van Gezondheid en Opvoeding (HEW). Er waren 3 gebieden gepland voor deze experimenten en wel de Rocky Mountain States, de Appalachian States en Alaska plus de staat Washington. Lokaal werd er samengewerkt met de federatie van Rocky Mountain States, de "Appalachian Regional Commission", de "Veterans Hospital Administration" en het "Alaska Telecommunication Project Committee". De positie van de bundel van de satelliet veranderde meerdere keren per week zodat successievelijk alle genoemde organisaties van signaal voorzien werden, fig.2.

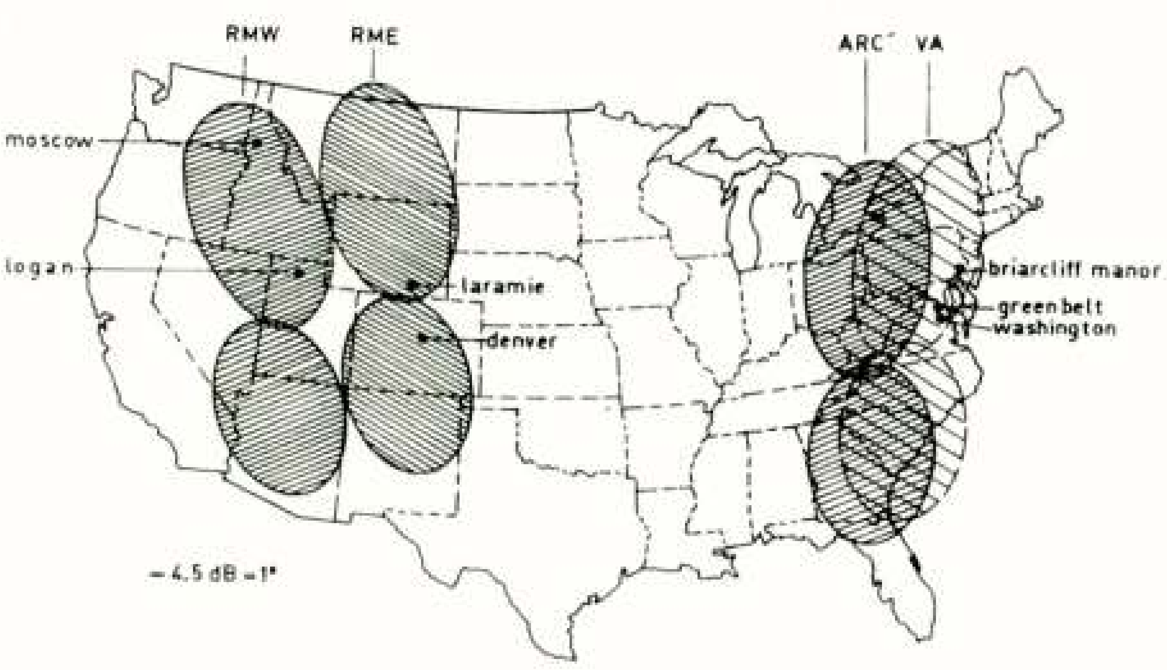


Fig.2. -4,5 dB contouren ATS-6, 2,6 GHz in de Verenigde Staten. Positie satelliet 94°W.L.

Het materiaal aangeboden via de satelliet uitzending was van velerlei aard, zoals cursussen voor leerlingen van middelbare scholen, cursussen voor onderwijzers en voor volwassenen, alsmede communicatieverbetering van geïsoleerd wonende mensen in Alaska, waar o.a. educatieve programmas voor dorpscholen, het stimuleren van de medische opvoeding en telediagnose werden toegepast. Verder werden proeven genomen met het doorzenden van de komplete gegevens van een patiënt uit een dorp naar een medisch centrum, simulatie van rampen, etc. In sommige gevallen bestonden de terminals dan ook uit zend-ontvanginstallaties.

Verspreid over de V.S. waren door NASA 140 ontvangers geplaatst. Daarnaast waren er ook nog 7 ontvangers van Philips in gebruik die in de plaatsen staan als aangegeven in fig.2.

Betreffende deze installaties zijn er nog een drietal bijzonderheden te vermelden:

a. De 3 m Ø antenne is geconstrueerd van goedkope materialen nl. kippegaas in een raamwerk van polyurethaan, een kunststofschuim dat in de matrijs uitzet en uithardt. Het is een typisch ontwerp voor die landen, waar arbeidskosten laag zijn, d.w.z. het ontwerp is gebaseerd op lage materiaalkosten en lage kosten voor matrijzen terwijl ongeveer 80% van de kosten arbeidskosten zijn, gemeten volgens Westeuropese maatstaven, fig.3.



Fig.3. 3m antenne als werkend op 2,6 GHz in de Verenigde Staten of op 860 MHz in India.

De antenne kan zelfs bij windsnelheden van 90 km/uur nog werken, zonder dat de beeldkwaliteit ernstig achteruitgaat en kan windsnelheden van 180 km/uur weerstaan zonder dat mechanische beschadigingen optreden. Tenslotte is de opbouw in de vorm van segmenten gekozen i.v.m.transport.

b. Teneinde zoveel mogelijk brandstof te besparen aan boord van het ruimtevaartuig, worden slechts een beperkt aantal correcties betreffende de Noord-Zuid drift van de satelliet uitgevoerd.

De maximaal toegestane inclinatie van de positie van de satelliet kan 2° bedragen t.o.v. het equatoriale vlak. Tengevolge van Newton krachten op de satelliet uitgeoefend door de zon en de maan, zal een langzame drift optreden in een richting loodrecht op het equatoriale vlak van ongeveer 0,8° per jaar. Indien de inclinatie een zekere toe te laten waarde heeft, in de buurt van 2°, zal de inclinatie weer gecorrigeerd worden in tegengestelde richting. Een inclinatie t.o.v. het equatoriale vlak geeft aanleiding tot een schijnbare beweging van de satelliet zoals aangegeven in fig.4.

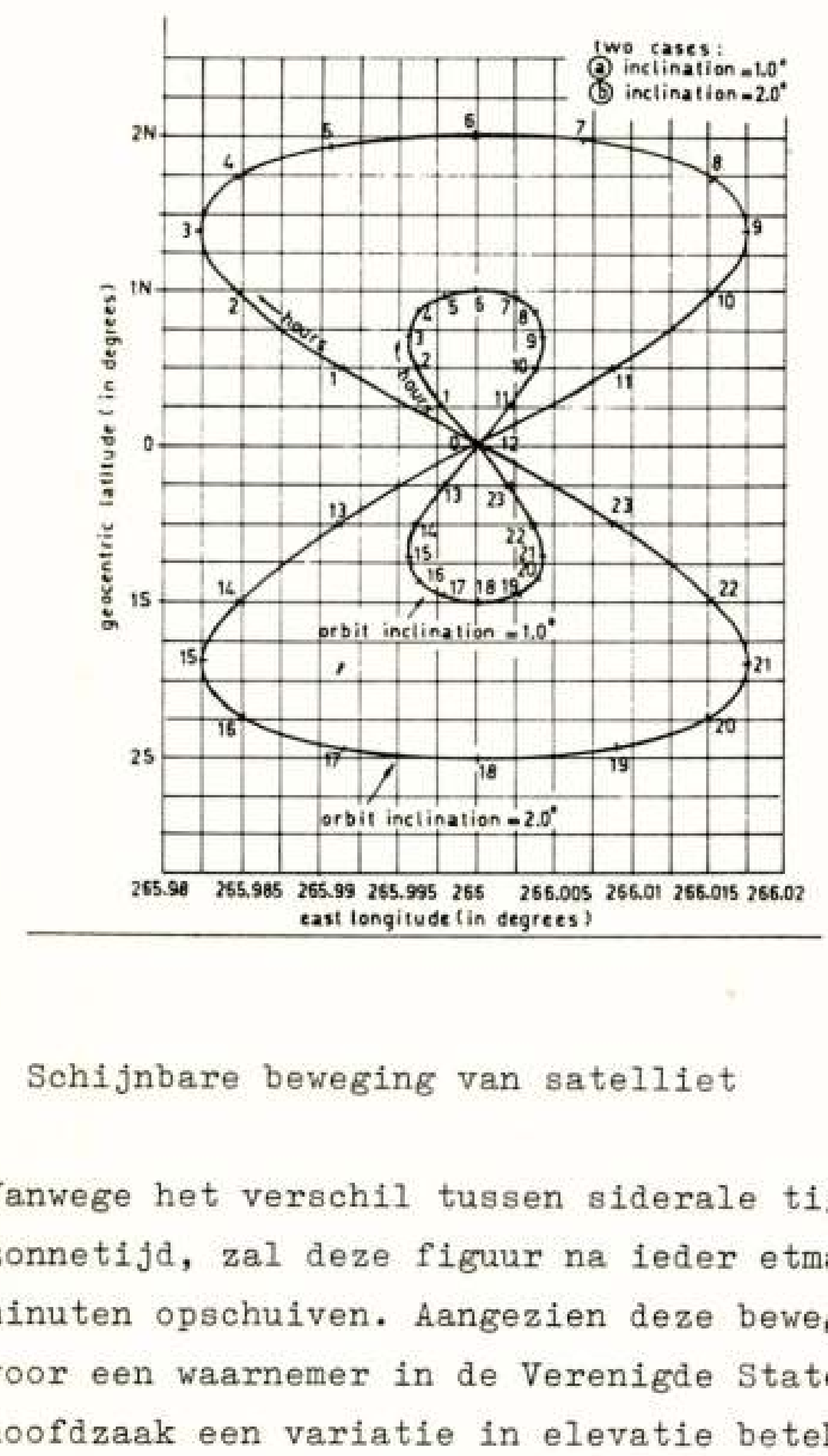


Fig.4. Schijnbare beweging van satelliet

Vanwege het verschil tussen siderale tijd en zonnetijd, zal deze figuur na ieder etmaal 4 minuten opschuiven. Aangezien deze beweging voor een waarnemer in de Verenigde Staten in hoofdzaak een variatie in elevatie betekende, is de antenne zo gemaakt, dat de elevatie ± 2,5° door een op afstand bediende motor veranderd kan worden. Bij een definitieve omroepsatelliet die bijvoorbeeld binnen 0,1° gepositioneerd zal zijn, is een dergelijke motor niet nodig.

c. De FM-AM convertor is gecompliceerder en groter dan vereist zou zijn voor privé ontvangst, fig.5. Het videosignaal is samen met 4 hulpdraaggolven, die een subdeviatie hebben van 53 kHz, op de hoofddraaggolf gemoduleerd met deviaties van respectievelijk 10 MHz; 0,39 MHz; 0,45 MHz; 0,49 MHz en 0,49 MHz.



Fig.5. FM-AM convertor voor een TV signaal + 4 simultane audio signalen

De video bandbreedte is 4,2 MHz terwijl de 4 geluidsdraaggolven op 4,64 MHz; 4,83 MHz; 5,0 MHz en 5,36 MHz van de video draaggolf liggen. Omdat gevraagd werd, dat elke geluidsinformatie (b.v.gebruikt bij het toepassen van verschillende talen) samen met de video informatie op verschillende bestaande VHF-kanalen simultaan gemoduleerd moesten worden, waaruit men met de kanalenkiezer van de TV ontvanger een keuze kon maken, resulteerde dit in een grotere en een meer gecompliceerde FM-AM convertor dan nodig zou zijn voor privé ontvangst. De betrouwbaarheid van de 7 terminals gedurende de periode van 1 jaar (mei 1974-mei 1975), waarbij de installaties in totaal 344 uren in gebruik waren, was goed. Gedurende die periode gaven antennes, kruisdipolen + voorversterkers, de FM-AM convertors en de TV ontvangers geen aanleiding tot storingen, terwijl slechts één keer een onacceptabel frequentieverloop van de lokale oscillator van één van de frequentie convertors optrad. Tenslotte geeft fig.6 een indruk van de signaal/ruis verhouding van de terminals gedurende de operationele periode, die voor de terminals samen 312 uur bedroeg. Het feit dat toch nog gedurende ongeveer 20% van de tijd het signaal in de buurt van de FM drempel kwam of daar beneden, kan verklaard worden doordat een aantal terminals in de buurt van de -4,5 rand van de bundel stonden opgesteld,hetgeen bij niet nauwkeurig richten van de zendantenne bundel

aanleiding kan geven tot een wat slechtere beeldkwaliteit als uit tabel 2 verwacht kan worden.

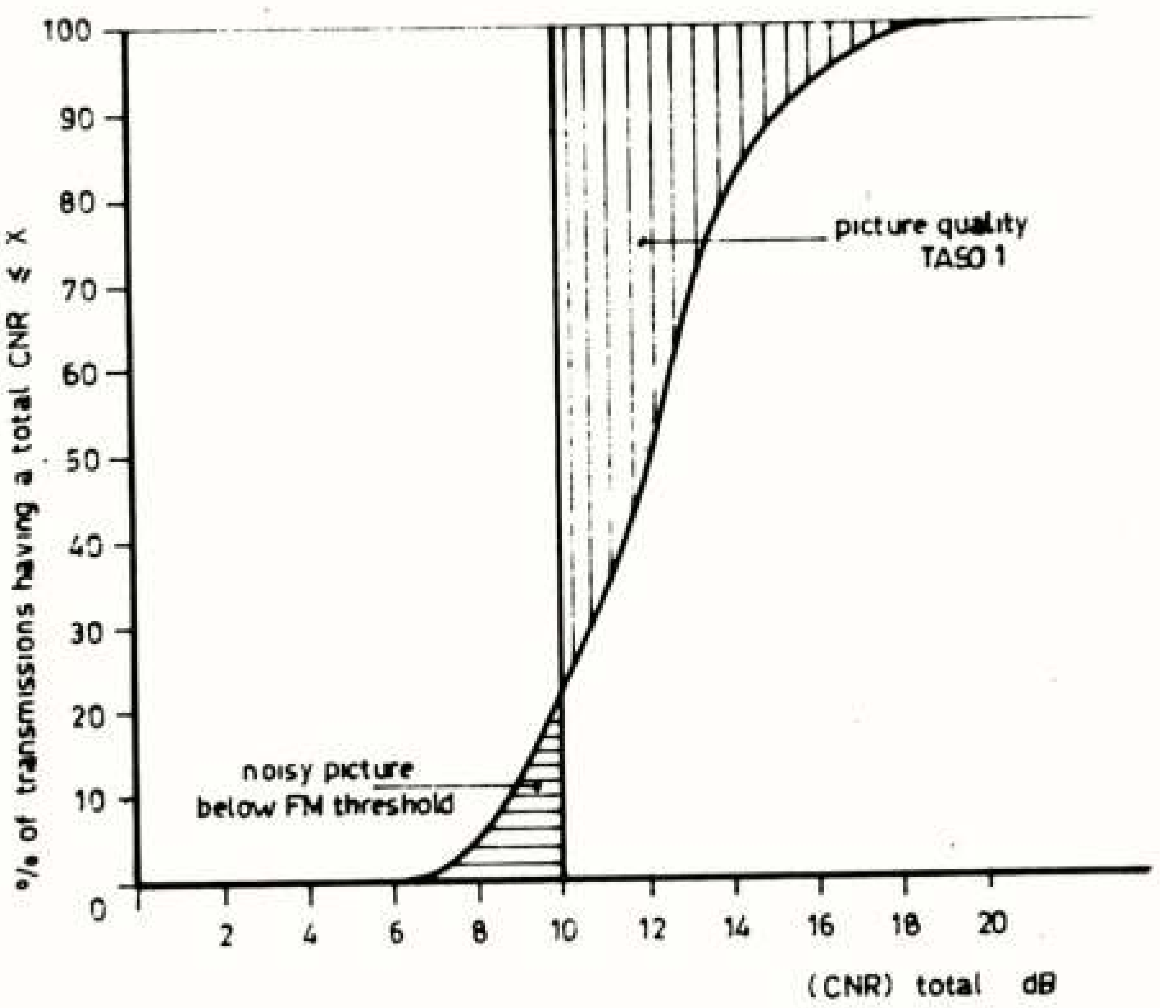


Fig.6. Cumulatief histogram van signaal/ruisverhouding voor alle Philips ontvangers gebruikt in het "HET" projekt.

4. EXPERIMENTEN IN INDIA (SITE EXPERIMENT 860 MHz VAN JULI 1975 TOT AUGUSTUS 1976.

Doel: Het verspreiden van edukatieve programmas voor volwassenen en kinderen en daarnaast ook het geven van "life" uitzendingen en informatie over culturele en aktuele onderwerpen.

India is een groot subcontinent, dat behalve in enkele grote centra nauwelijks over "klassieke" communicatiemiddelen beschikt, zoals televisie netwerken, centrale antenne systemen, kabelverbindingen over grote afstanden en hoogfrequente "link" verbindingen. Ook zijn door slechte wegen vooral in de regentijd vele woongebieden praktisch geïsoleerd. In India is een sterke behoefte aan edukatieve programmas t.a.v.landbouw, hygiëne, elementaire opvoeding, geboorteregeling, enz.

Door de slechte verbindingen en door de staatkundige struktuur (er zijn 19 verschillende staten waar 14 verschillende hoofdtalen gesproken worden), bestaat er bij de regering bovendien een sterke behoefte aan organisatie en centralisatie.

De bevolking van India, bestaande uit ruim 600 miljoen inwoners, woont voor een klein deel in enkele grote bevolkingscentra zoals Delhi, Bombay, Madras en Kampur Lucknow terwijl het overgrote deel (ongeveer 80%) verdeeld is over 560.000 kleine dorpen. Een dergelijk land zal zich dus bij uitstek lenen voor communicatie per satelliet.

Een vergelijkende studie over India uitgevoerd door de Verenigde Naties (1968) waarbij naast elkaar gezet werden een conventionele omroep aangevuld met microgolf straalverbindingen, een omroep uitsluitend per satelliet, conventionele TV stations die d.m.v. een satelliet hun programmas ontvangen en heruitzenden en tenslotte een hybride systeem van satelliet omroep en heruitzending van de satelliet programmas in de grote bevolkingscentra, gaf een duidelijke voorkeur voor het hybride systeem aan als zijnde het meest goedkope.

Het experiment met de door de NASA beschikbaar gestelde ATS-6 satelliet, die vooral gericht was op direkte ontvangst, was hiervoor uiterst belangrijk zowel uit het oogpunt van "hardware" als van "software". Wat de "hardware" betreft, waren er studios en "uplink" stations opgericht in New Delhi en Ahmedabad, terwijl tevens van de bestaande studio van Bombay gebruik gemaakt werd.

In totaal werden in fabrieken van de Indiase regering 2400 ontvangers gemaakt, die over 6 zogenaamde "clusters" over het land verdeeld werden, fig.7.

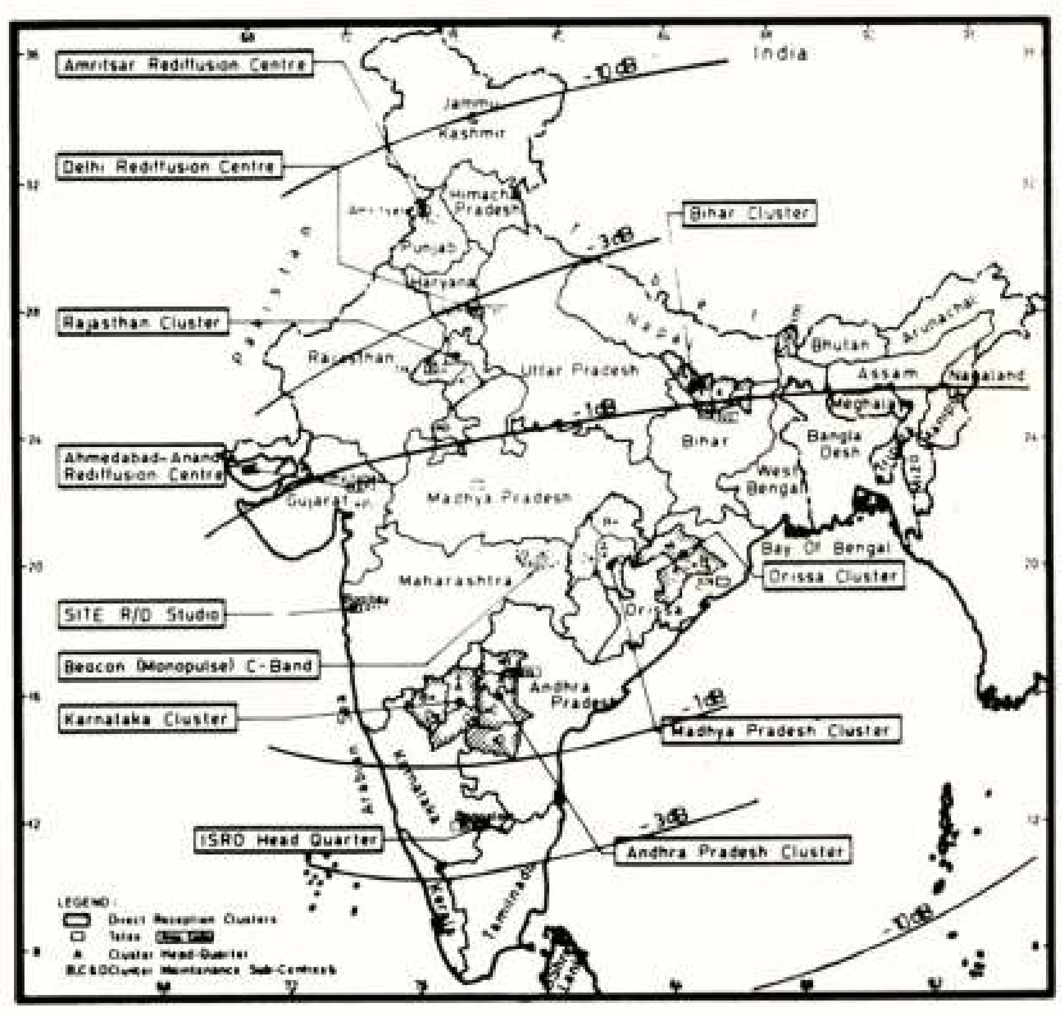


Fig.7. Veldsterkte contouren ATS-6, 860 MHz signalen in India. Positie satelliet 35° O.L.

In deze "clusters" waren een aantal dorpen uitgekozen die ieder één ontvanginstallatie hadden. Wat de "software" betreft, was voor bijna 1300 uur geproduceerd, o.a. met hulp van de Indiase filmindustrie die de grootste ter wereld is. De uitzendingen in de ochtenduren, ongeveer 2 uur durend, waren gewijd aan educatie, terwijl de avonduitzendingen, eveneens ongeveer 2 uur durend, gewijd waren aan

journaals, Indiase dansen en cultuur. Vooral voor de ochtenduitzendingen was veel belangstelling: 400 à 500 mensen kijkend naar een TV apparaat was geen uitzondering.

De uitzendingen vonden plaats in twee talen d.w.z. één in de hoofdtaal Hindi, de andere in de taal van die "cluster" waar de uitzending voor bestemd was. De talen werden gemoduleerd op een afstand van 5,5 en 6 MHz van de video draaggolf waarbij in beide gevallen in het geremoduleerde uitgangskanaal de afstand van 5,5 MHz gehandhaafd respectievelijk hersteld werd zodat een normale TV ontvanger gebruikt kon worden. De keuze uit één van de twee talen geschiedde m.b.v. drukknoppen op de FM-AM convertor, fig.8.

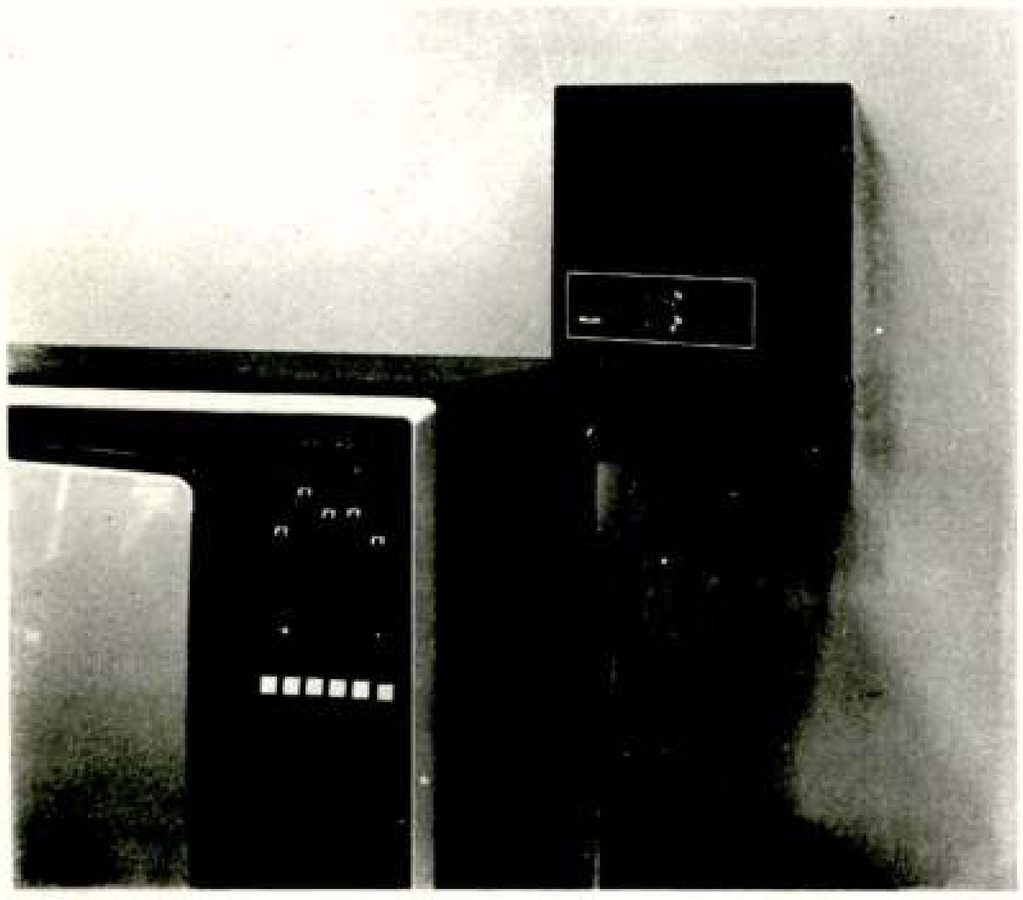


Fig.8. FM-AM convertor, keuzeknoppen voor 2 talen

Om ook ervaring op te doen met ontvangers die opereerden onder tropische condities, nam Philips deel met vijf 860 MHz ontvangsystemen te weten drie op het terrein van de SAC te Ahmedabad, fig.9, een op het dak van het Philips hoofdkantoor en een bij het Radio Astronomisch Centrum te Ootacamund. Ook hier was ondanks de ongunstige klimatologische omstandigheden, de betrouwbaarheid van de ontvangers goed te noemen. De antenne installatie gaf geen aanleiding tot storingen; de frequentie convertor viel één keer uit; de FM-AM convertor in totaal 3 keer (2 x door het doorbranden van een zekering), waarbij soms het geluid van mindere kwaliteit was. De experimentele televisie ontvangers gaven tweemaal aanleiding tot klachten, waaronder één zekering. Hierbij kan opgemerkt worden dat ten aanzien van het doorbranden van de zekeringen de situatie speciaal in Ahmedabad zeer ongunstig was. De omgevingstemperatuur kan daar oplopen tot 47°C, terwijl de netspanning voortdurend hoog was (250V).



Fig.9. Gebruik van satelliet ontvanger bij ziekenhuisje in India.

Het feit dat het "uplink" station in New Delhi tot onze verrassing een veel grotere deviatie van de geluidssubdraaggolf gaf (± 75 kHz) dan werd verwacht - het "uplink" station in Ahmedabad had de gebruikelijke ± 53 kHz - leidde tot een meer kritische afregeling en maakte dus een hogere frequentiestabiliteit noodzakelijk van geluidsfilters en discriminator van FM-AM convertor en TV ontvanger, dan voorzien. Een en ander leidde soms tot een minder goede geluidskwaliteit gedurende transmissies uitgezonden door New Delhi.

Helaas was het niet mogelijk om tijdig de geregistreerde gegevens uit India te verwerken zodat een cumulatief histogram zoals samengesteld uit de resultaten van de Verenigde Staten nog niet gegeven kan worden. Evenwel kan nu al geconcludeerd worden uit de binnengekomen gegevens, dat de beelden van zeer goede kwaliteit waren.

5. CONCLUSIE

Uit het voorgaande mag geconcludeerd worden dat de 2 uitvoerige proeven met direkte ontvangst van de ATS-6 zowel in de Verenigde Staten als in India een groot succes waren, waarbij de grote investeringen in deze proeven zowel door overheden als industrie alleszins gerechtvaardigd lijken door de grote positieve invloed die satelliet TV in de toekomst van de wereld kan hebben.

Dat zulke goede resultaten bereikt konden worden, door gebruik van goedkope terminals, waarbij bijna steeds in massa geproduceerde onderdelen gebruikt werden, stemt hierbij tot bijzondere voldoening. Immers deze soort technieken zijn alleen haalbaar als ze goedkoop zijn en bereikbaar voor de massa. Hierbij moet niet vergeten worden - en ingenieurs hebben deze neiging nogal eens - dat ook het produceren van programmas een zeer belangrijk deel van het totale kostenaspect uitmaakt.

LITERATUUR

1. J.W.Edens, "Experiments of TV Broadcast Reception from Satellites on 2.6 GHz", Proceedings ESA Symposium on Satellite Broadcasting, February 12-14,1975.

2. Rao B.S. et al., "United Nations Conference on the Exploration of Peaceful Use of Outer Space", 1968.

Voordracht gehouden op 1 december 1976 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 260) de Sectie Telecommunicatie-Techniek van het KIvI en de Benelux section IEEE.

HET MILLIMETER GOLF EXPERIMENT BIJ 30 GHz MET DE ATS-6 SATELLIET

ir. J. Dijk en dr. ir. E.J. Maanders
Technische Hogeschool Eindhoven, Afdeling Elektrotechniek
Vakgroep Communicatiesystemen

Summary

The Eindhoven University of Technology in the Netherlands has participated in several experiments in relation to ATS-6.

The millimeter wave experiment was the most important one. From the 30 GHz signal, re-transmitted by the satellite, both copolar and cross-polar signals could be received by a 3 meter precision Cassegrain antenna and two phase-locked loop receivers. A weather station has been designed to make comparison of measured data possible.

The copolar signal shows attenuation which varies strongly with the amount of rain. The rain is measured by a rain gauge located close to the 3 meter precision Cassegrain antenna. The attenuation measured at the satellite link does not always correspond with the attenuation measured at the nearby line of sight link at 34 GHz. An example will be given. During heavy thunderstorms the attenuation may reach high values such as 20 dB or more.

The copolar signal measured shows values of -55 dB to about -20 dB relative to the copolar depending upon several reasons. First of all the rain shows mostly a strong increase in the cross-polar level but satellite movements and antenna pointing errors increase this level as well.

Although the time that the satellite was available for measurements was limited, some statistic results can be given. However, the signal received from the satellite was not always constant.

Mostly the 30 GHz signal suffered from amplitude scintillation, usually caused by refractive-index fluctuations in the troposphere.

The measurements show day and night differences with minima in the early morning and also differences depending on clear sky or cloudy sky. During rain scintillation usually becomes smaller. Not only the copolar signal but also the cross-polar signal shows scintillation. In general, these fluctuations are larger than those of the copolar signal.

1. INLEIDING

Op de internationale Telecommunicatie Conventie te Montreux in 1965 werd de volgende omschrijving van telecommunicatie aanvaard:

Telecommunicatie is elke overdracht, uitzending of ontvangst van tekens, signalen, geschrift, beelden en geluid of gegevens van een of andere soort over draden, door de ruimte, langs optische of andere elektromagnetische weg.

Uit deze definitie blijkt dat niet alleen bijvoorbeeld telefonie, omroep, telex etc. tot de telecommunicatie gerekend moet worden, maar evenzeer technieken als radar, radionavigatie, radiosterrenkunde etc.

Voor al deze diensten is erg veel bandbreedte nodig en door de sterke uitbreiding van de telecommunicatie neemt de vraag naar bandbreedte voortdurend toe. Uit Fig. 1 en Fig. 2 kan nagegaan worden hoe alleen al voor telefonie de vraag enorm is toegenomen. Voor andere diensten kan men soortgelijke figuren laten zien.

Op dit moment zijn vrijwel alle frekwentiebanden beneden 10 GHz bezet en moeten de frekwentiebanden van 10 - 100 GHz in gebruik genomen worden. Om dit doel te verwezelijken, worden deze banden door verschillende laboratoria op hun bruikbaarheid onderzocht.

Het onderzoek is er op gericht een inzicht te krijgen betreffende zaken zoals demping, absorptie, verstrooiing, dispersie, refraktie, buiging en antenneruis. Er zullen verder statistische gegevens beschikbaar moeten komen betreffende demping en faze van het ontvangen signaal. Scintillatie is bij deze hoge frekwenties zeker aanwezig en heeft zowel invloed op de amplitude als op de faze van het ontvangen signaal.

De invloed van het weer op de propagatie van radiogolven bij deze hoge frekwenties is significant waarbij in het bijzonder hydrometeoren zoals regen, sneeuw etc. een grote rol spelen. In verschillende onderzoek centra wordt dan ook getracht correlatie tussen weergegevens en het ontvangen signaal te leggen. Voor zeer vele diensten en vooral voor die welke gebruik maken van digitale signalen wil men de frekwentiebanden beter gebruiken door hergebruik van polarisatie d.w.z. twee loodrechte polarisaties of links en rechts draaiend circulaire polarisatie toepassen met dezelfde frekwentie waardoor de bandbreedte capaciteit verdubbeld kan worden. Met het oog hierop wordt omvangrijk onderzoek verricht naar de z.g. kruis-

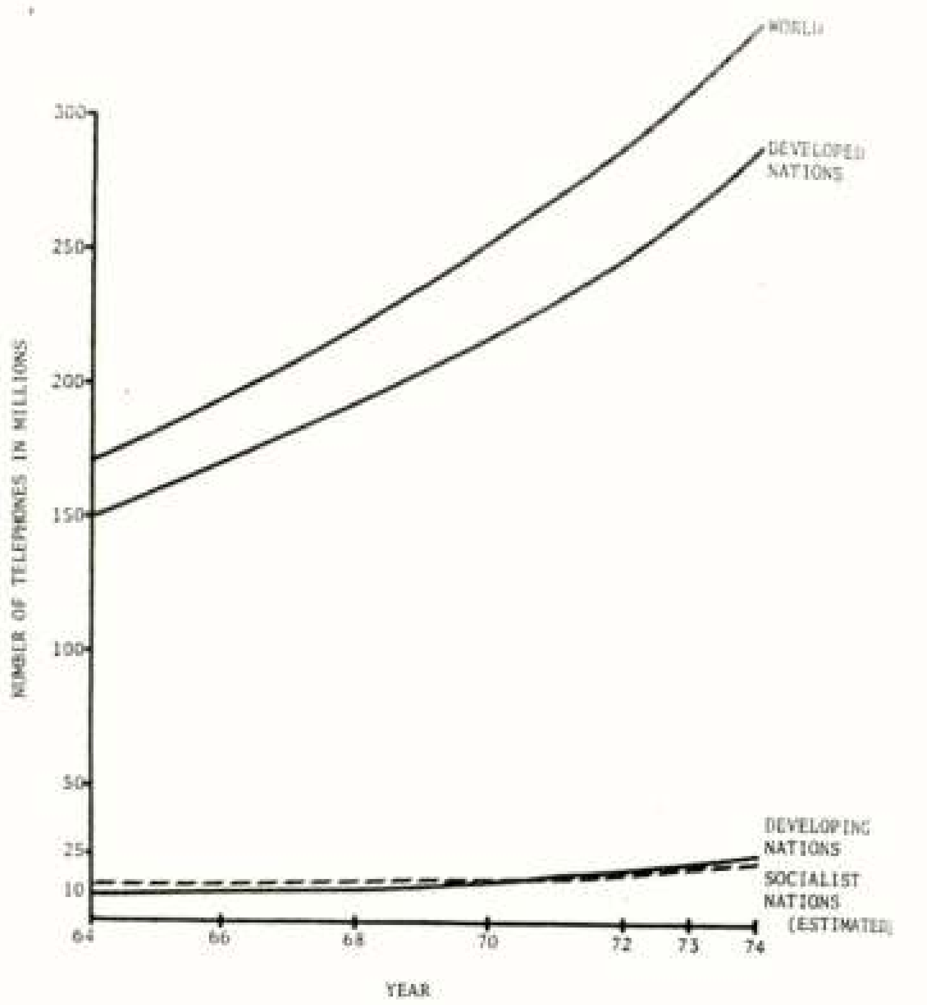


Fig. 1. De groei van het telefoonverkeer (overgenomen uit IEEE Trans. on Communications, July 1976, p. 678)

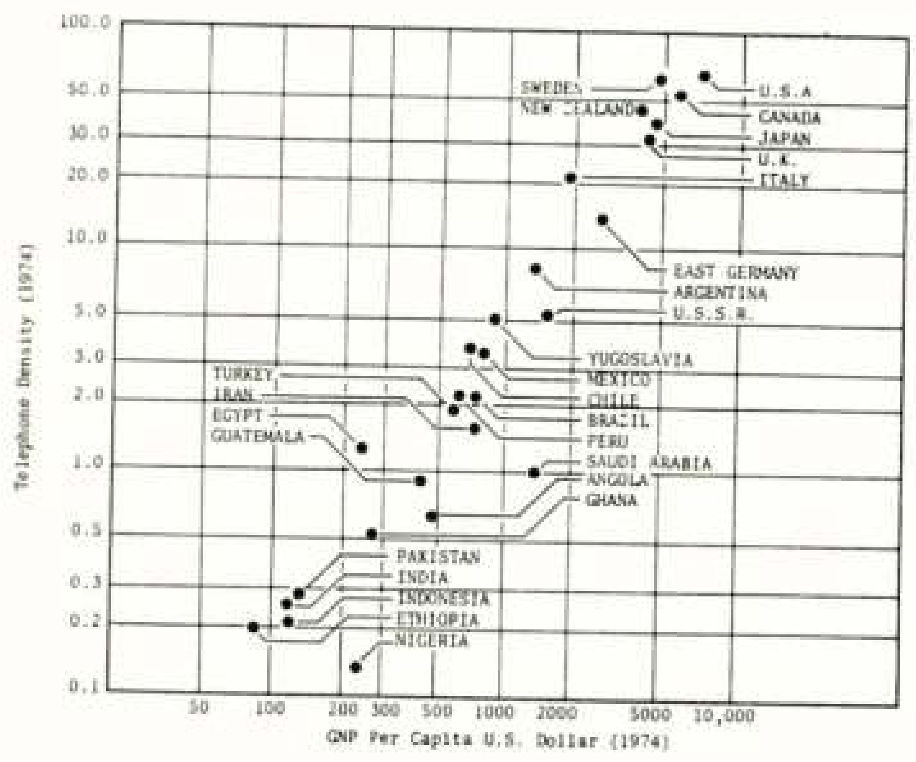


Fig. 2. Telefoon dichtheid en bruto nationaal produkt (overgenomen uit IEEE Trans. on Communications, July 1976, p. 680)



Fig. 3. Het grondstation voor de ontvangst van de ATS-6 satelliet van de Technische Hogeschool te Eindhoven.

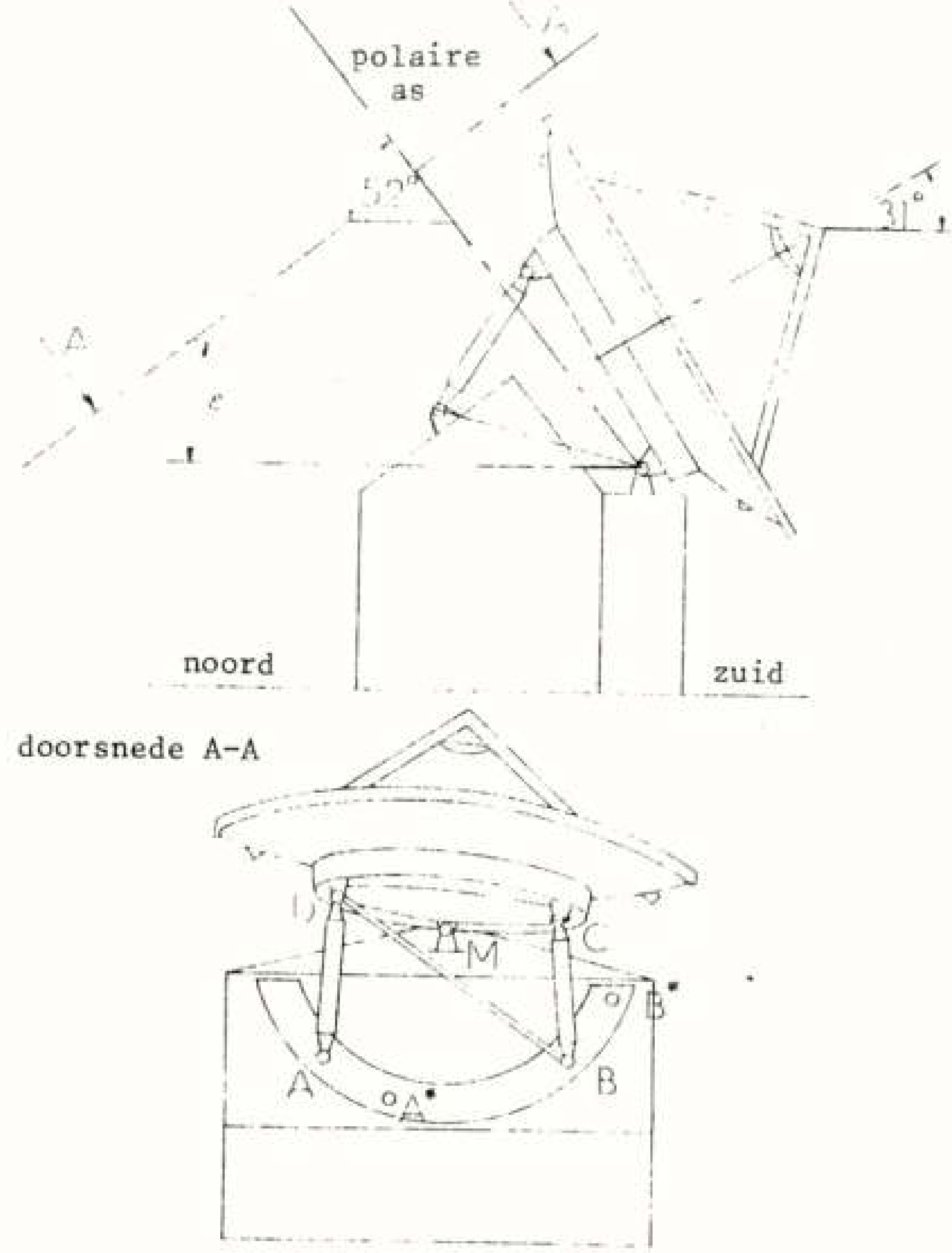


Fig. 4. Constructie tekening van antenne en mount.

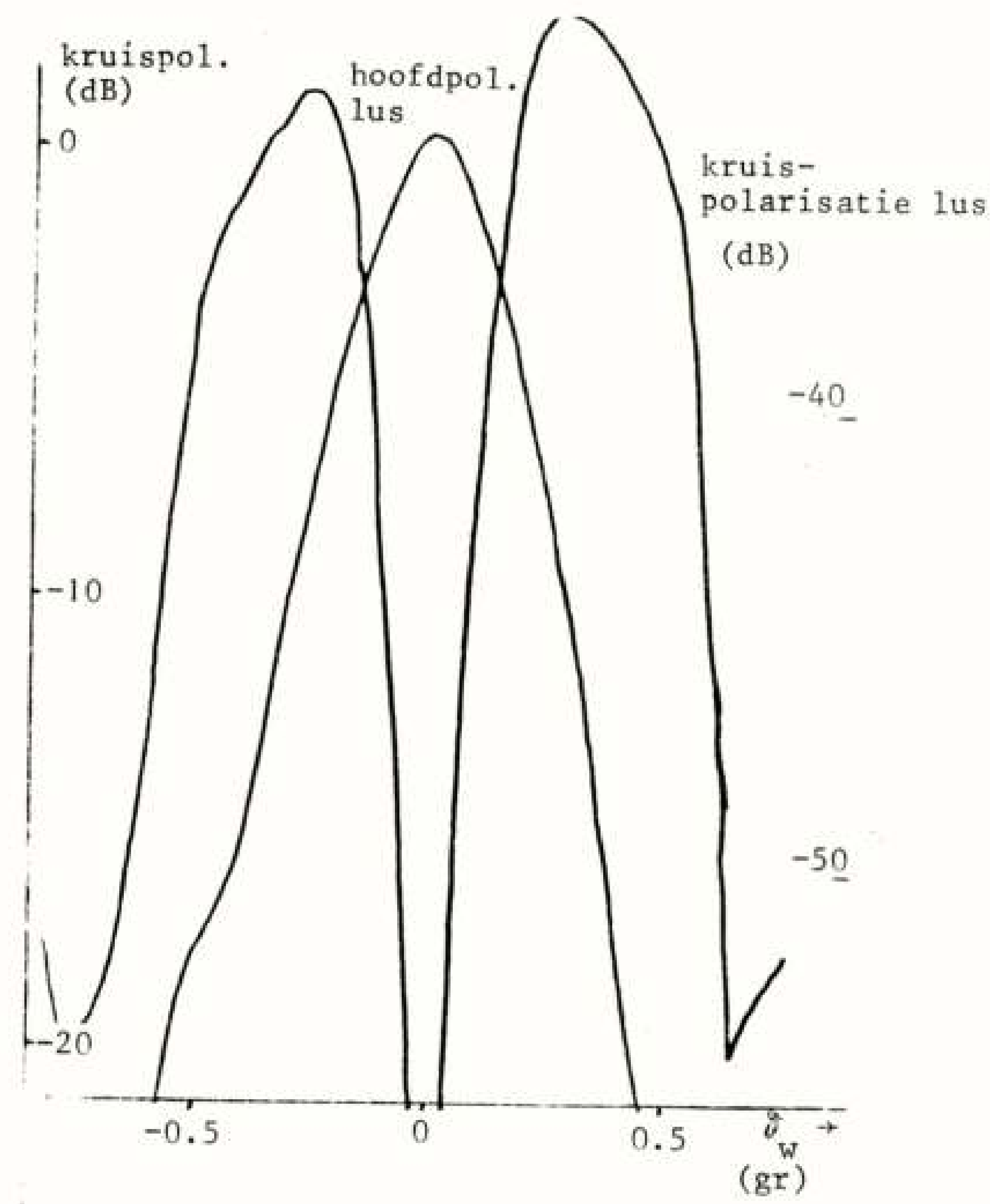


Fig. 5. Het stralings diagram van de 3 meter Cassegrain antenne bij 30 GHz ($\phi = 90^o$).

polarisatie effekten zowel bij straal- als satelliet verbindingen. Deze kruispolarisatie effekten doen zich zowel voor ten gevolge van de antenne als ook bij de propagatie weg door de troposfeer en de ionosfeer. Het aantal satellieten dat boven 10 GHz werkzaam is of binnenkort voorbij de ionosfeer werkzaam zal zijn is nog klein (ATS-6, OTS en SIRIO).

De ATS-6 satelliet werd in juli 1974 gelanceerd door de NASA en in een geostationaire baan gebracht op een punt boven de Galapagos eilanden. Vanuit Europa was de satelliet toen niet zichtbaar. In augustus 1975 is de satelliet in het evenaarvlak verplaatst en stond tot augustus 1976 boven het Victoriameer in Afrika op 35° O.L. Gedurende deze periode zijn dan ook bij verschillende europeese laboratoria metingen begonnen met behulp van deze satelliet. Ook werd de satelliet bepaalde uren van de dag gericht op India, voor het verrichten van een educatief experiment, SITE geheten.

Dit artikel handelt in het bijzonder over het millimeter golf experiment bij 30 GHz en de ervaringen die hierbij in Eindhoven zijn opgedaan, met als doelstelling het vaststellen van propagatie karakteristieken t.b.v. satelliet communicatie boven 10 GHz.

Het moet worden vermeld dat aan het millimeter golf experiment eveneens is deelgenomen door de universiteiten van Birmingham en Bradford, het Appleton Laboratory te Slough (G.B.) en de British Post Office te Martlesham, verder de Duitse Bundespost te Darmstadt en het CNET te Parijs.

Voor een gedetailleerde beschrijving van het millimeter golf experiment verwijzen wij naar een onlangs verschenen publikatie (1).

Naast dit millimeter golf experiment is in Eindhoven ook deelgenomen aan een propagatie experiment bij 13 en 18 GHz het COMSAT experiment, een radiometer experiment (7) en een ionosferisch propagatie experiment (11).

2. Beschrijving van de apparatuur

Op 20 en 30 GHz zendt de satelliet een zeer stabiel lineair gepolariseerd signaal naar de aarde waarmee propagatie onderzoek verricht kan worden. In Eindhoven heeft men zich beperkt tot één frekwentie, 30 GHz, en hiervoor een grondstation gebouwd. Dit grondstation omvat:

a. een antenne,

b. een ontvanger,

c. een weerstation,

d. data registratie apparatuur.

De *antenne* is een precisie Cassegrain reflector antenne waarvan de parabolische hoofdreflektor een diameter heeft van 3 meter. Aan het parabolische oppervlak zijn hoge eisen gesteld om te voorkomen dat verlies ontstaat in de antennewinst (2). De oppervlakte tolerantie bedraagt 0.1 mm rms. Bij 30 GHz bedraagt de antenne winst 56 dB en de 3 dB openingshoek van de antenne bundel is 0.28 graden. De antenne is gemonteerd op een statief van bijzondere constructie, zoals beschreven is in een onlangs verschenen rapport (3) en geïllustreerd is in Fig. 3. Een constructie tekening (Fig. 4) laat zien hoe de antenne schotel bevestigd is op een betonnen blok. De stangen AD en BC zijn beweegbaar terwijl punt M vast is. Hierdoor kan de antenne in twee richtingen bewogen worden met een beperkt bereik van 10 graden in elevatie en 20 graden in azimuth. Indien na afloop van een bepaald experiment, dus thans met de ATS-6, overgeschakeld moet worden naar een andere geostationaire satelliet bijv. OTS (Orbital Test Satellite), dan kan dit op eenvoudige wijze geschieden door A te verplaatsen naar A' en B naar B'.

In Fig. 5 wordt een deel van het stralingsdiagram van deze antenne getoond. Naast de hoofdlus van de antenne ziet men de kruispolarisatie lussen. Wat opvalt is het feit dat alleen op de antenne as en dicht hierbij (binnen 0.1°) het kruispolarisatie niveau zeer laag is. Voor afwijkingen van meer dan 0.1° van de antenne as stijgt de kruispolarisatie snel tot een veel hoger niveau. In dit verband is het noodzakelijk dat de grondstation antenne nauwkeurig gericht blijft op de satelliet. Een kleine afwijking zorgt onmiddellijk voor een belangrijke toename van het kruispolarisatie niveau, waardoor een verkeerd inzicht verkregen zou worden t.a.v. kruispolarisatie die op een andere wijze in het propagatie pad wordt geïntroduceerd, bijvoorbeeld door regen of bewolking. Vooral dit laatste geniet bijzondere aandacht. In het mechanisme dat de antenne bestuurt (3) kunnen stapjes waarmee de z.g. lead screws worden bestuurd ingesteld worden op 0.001° per stapje van de stappenmotor. De totale richtnauwkeurigheid bedraagt ca. 0.007 graden.

Oorspronkelijk werd verwacht dat de antenne voortdurend op de satelliet gericht zou kunnen blijven zonder bij te sturen. Helaas is door een mankement aan het besturingsmechanisme van de satelliet hier weinig van terecht gekomen. De satelliet maakte bewegingen die leidden tot een drift van 1.1° in azimuth en 1.4° in elevatie in 2 weken tijds. Hierna werd vanuit de aarde de satelliet weer in de uitgangs positie gebracht, een handeling die zich elke twee weken herhaalde (Fig. 6).

Gedurende het gehele experiment heeft de antenne goed gewerkt en kon dankzij handbesturing en ponsband besturing goed gericht blijven op de satelliet, al kostte dit bijzondere inspanning.

Bij de besturing deed zich een complicatie voor doordat de besturings assen niet loodrecht op elkaar stonden (Fig. 7). Door een rekenprogramma kon er echter voor gezorgd worden dat in werkelijkheid door gelijktijdige veranderingen van de lengte der scheve assen gerealiseerd kon worden dat de antenne bundel zich kon bewegen in twee loodrecht op elkaar staande vlakken.

De *ontvanger* wordt schematisch weergegeven in Fig. 8. Na een polarizer en middels een orthomode transducer worden hoofd- en kruispolarisatie signalen gescheiden. Het microgolf circuit met faze draaier en variabele verzwakker dient ter onderdrukking van de constante component in het

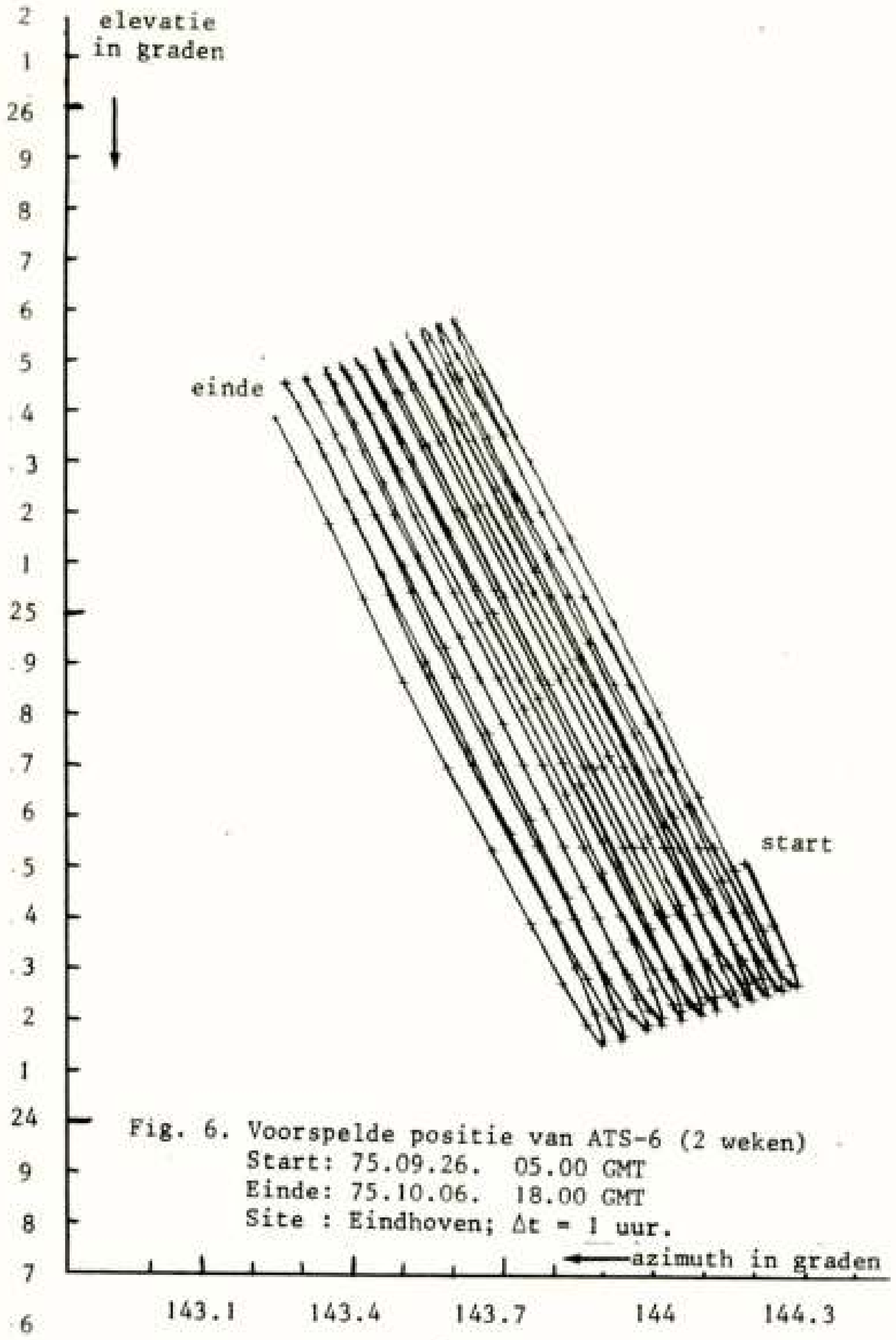


Fig. 6. Voorspelde positie van ATS-6 (2 weken)
Start: 75.09.26. 05.00 GMT
Einde: 75.10.06. 18.00 GMT
Site : Eindhoven; Δt = 1 uur.

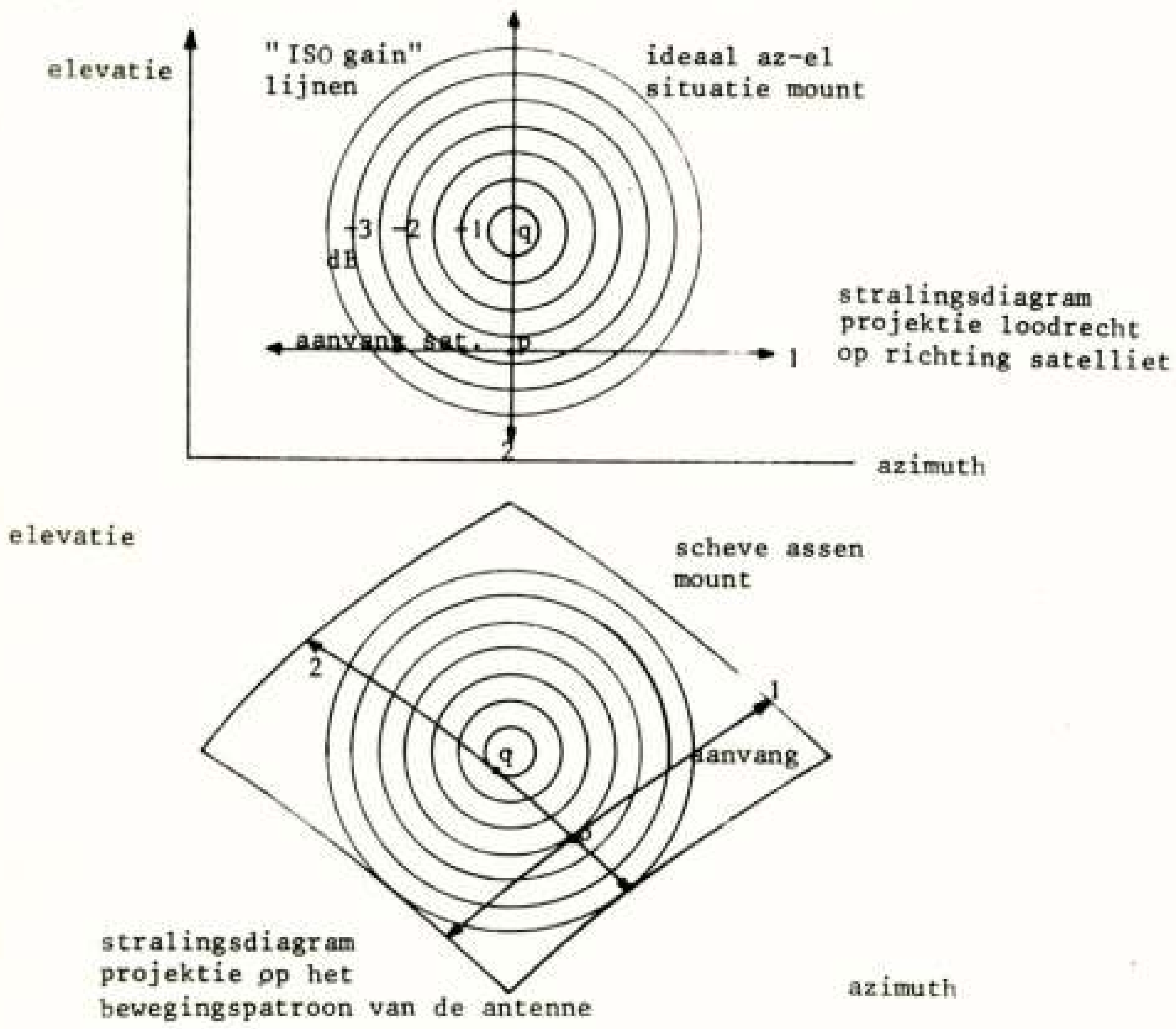


Fig. 7. Het richten van de antenne-as op de satelliet.

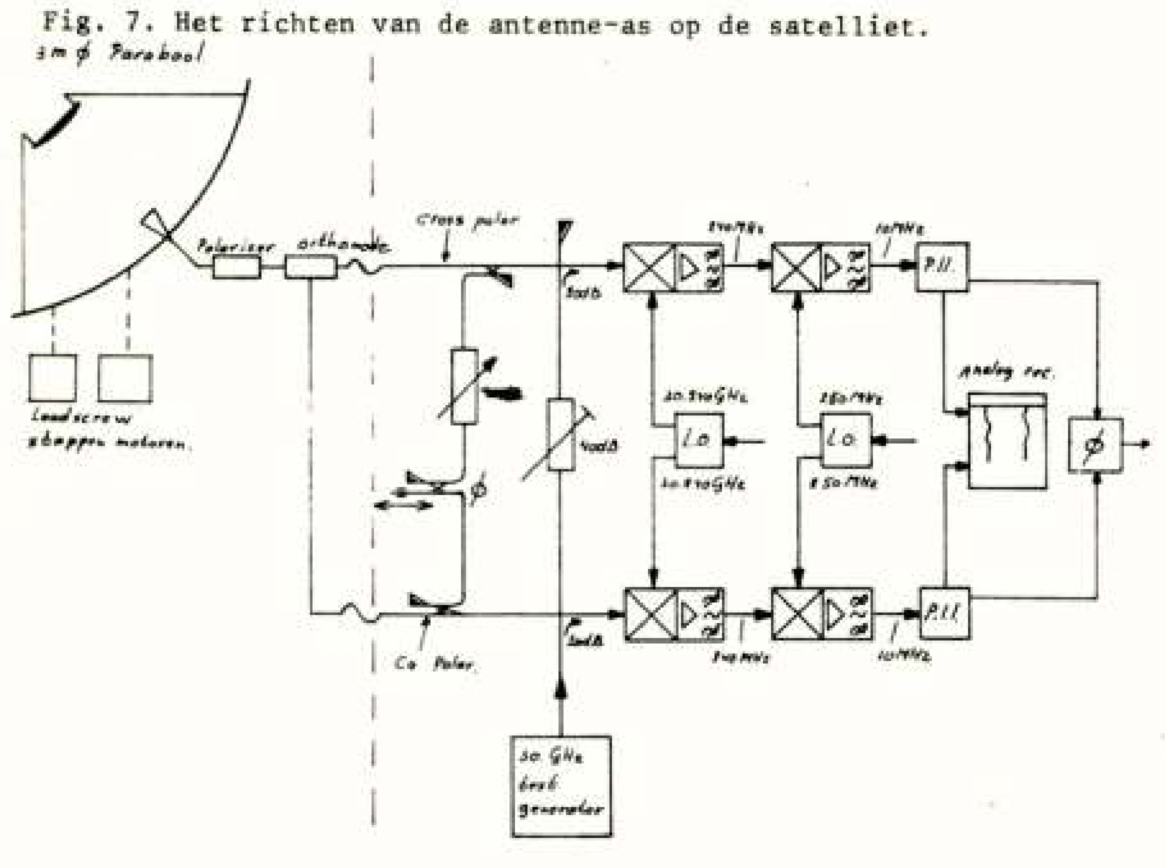


Fig. 8. ATS-6 ontvang installatie.

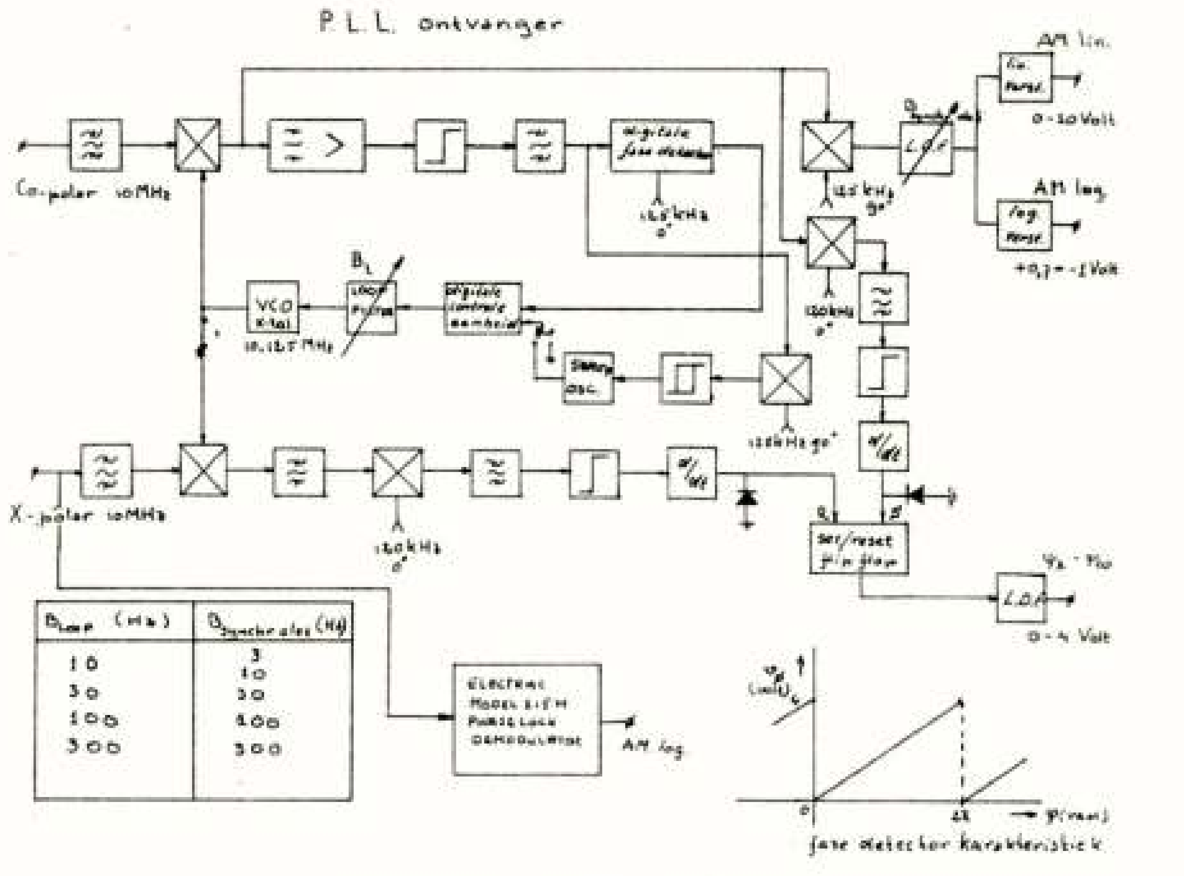


Fig. 9. Phase locked loop ontvanger.

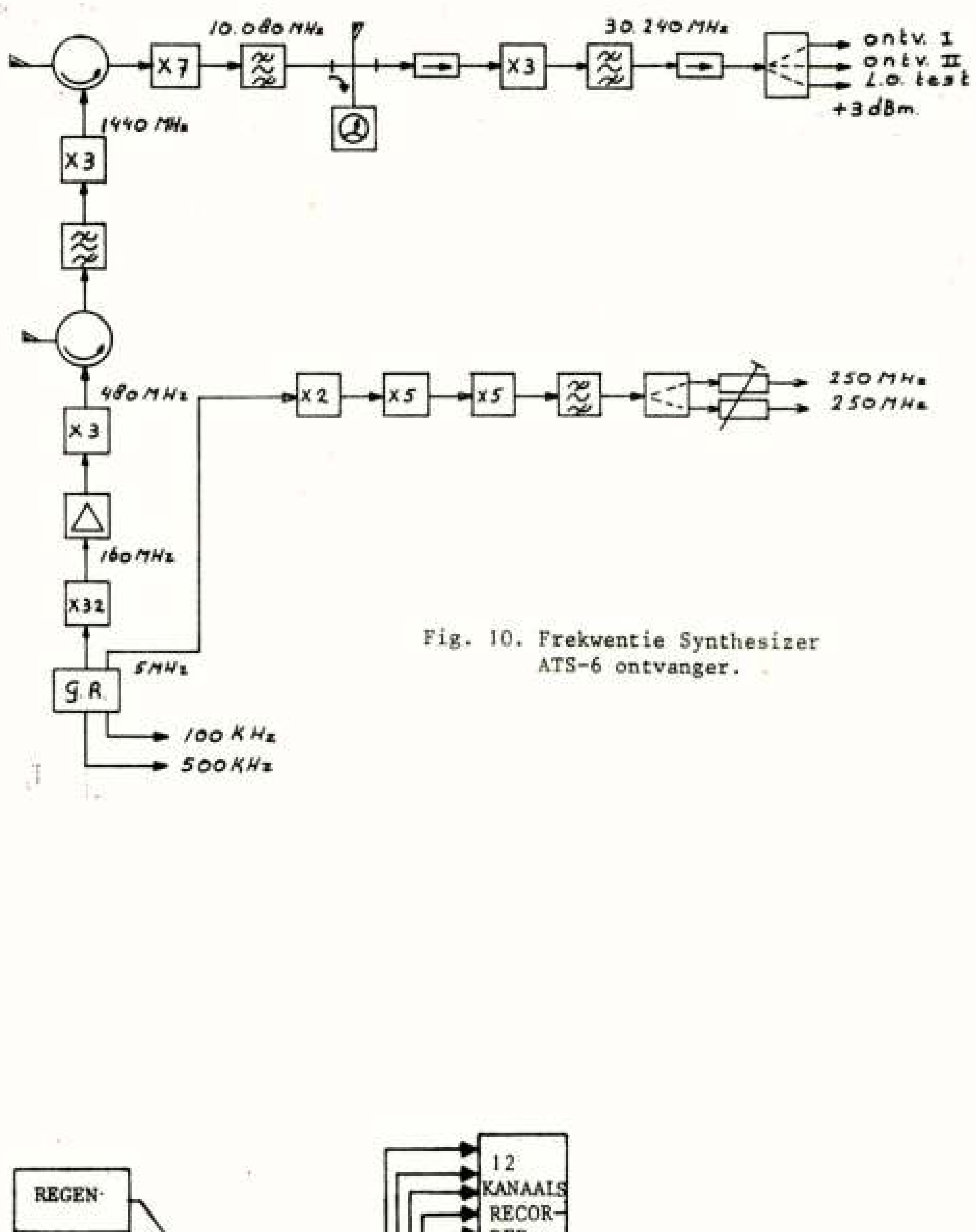


Fig. 10. Frekwentie Synthesizer
ATS-6 ontvanger.

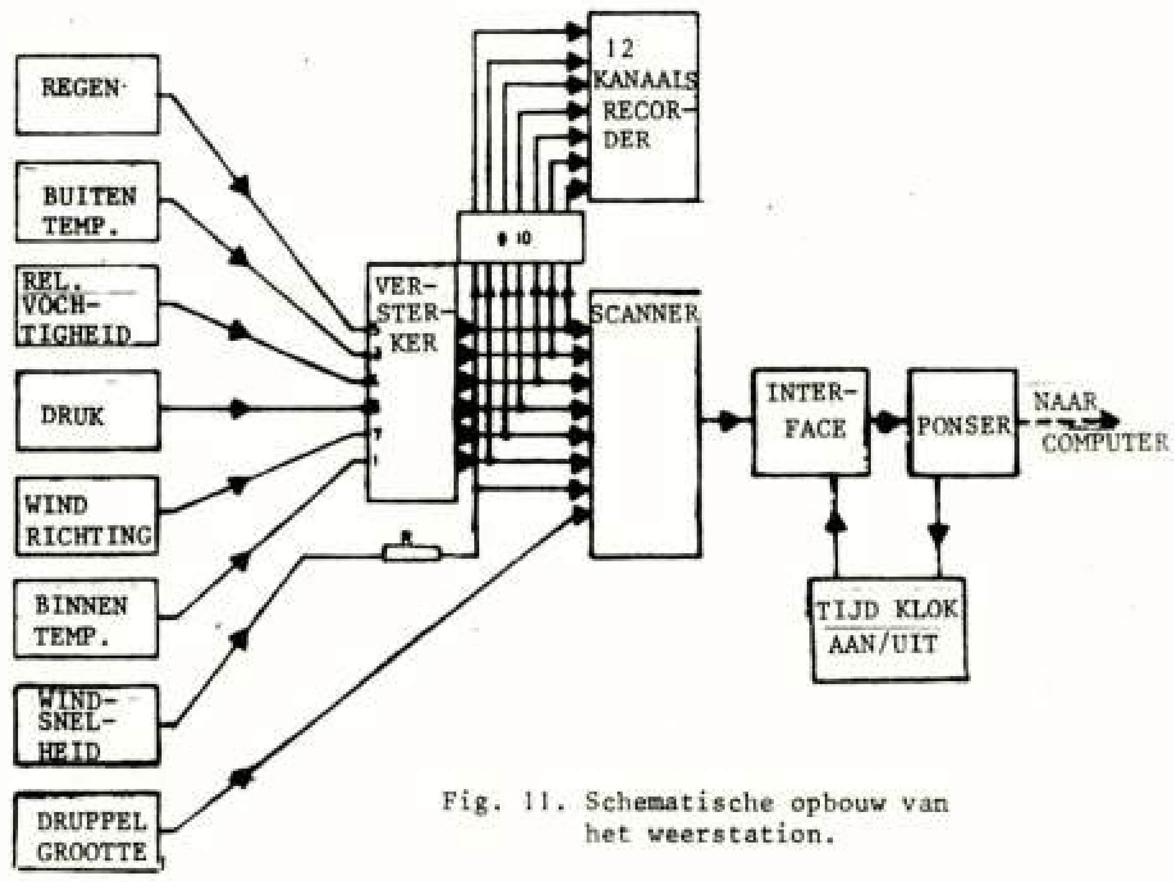


Fig. 11. Schematische opbouw van
het weerstation.

kruispolarisatie signaal, die ontstaat omdat de satelliet antenne niet op Eindhoven gericht is.
Het ontvangen 30 GHz signaal wordt, via een eerste midden frekwentie van 240 MHz, naar 10 MHz gemengd en gedetekteerd met een tweetal "phase locked loop" ontvangers (zie Fig. 9). Eén "phase locked loop" ontvanger bevat een regellus, die de faze van de VCO (voltage controlled oscillator) synchroniseert met de faze van het ingangssignaal, en zodoende synchrone detektie mogelijk maakt. Een fazefout echter is altijd aanwezig. Deze is een funktie van de loop-bandbreedte (B_L), signaal-ruisverhouding en spectrale zuiverheid van het ingangssignaal. Hiervan is slechts de loopband-breedte te kiezen. De optimale loopband-breedte kan berekend worden, indien signaal-ruisverhouding en spectrum van het ingangssignaal bekend zijn. Het spectrum wordt door de NASA opgegeven, en de signaal-ruisverhouding volgt uit de vermogens balans (zie Tabel I) en ontvanger ruistemperatuur (T = 6950 K).

Tabel I

Satelliet		
Zendvermogen	33	dBm
Antennewinst	39	dB
Systeemverlies	1	dB
Max. hoofdpol. EIRP	71	dB
Propagatie medium		
vrije ruimte verliezen	213.4	dB
atmosferische demping	0.6	dB
Grondstation		
Ontvangen draaggolf vermogen (isotr. antenne)	-143	dBm
Antennewinst (3 m parabool $\eta = \frac{1}{2}$)	56	dB
Ontvanger ruisniveau (T = 6950 K)	-160	dB-Ht
Kruispolarisatie isolatie	50	dB
Hoofdpol. loopband-breedte, tweezijdig (200 Hz)	23	dB
Kruispol. loopband-breedte, tweezijdig (20 Hz)	13	dB
S/N Hoofdpol. mooi weer condities	50	dB
S/N Kruispol. mooi weer condities	10	dB

Voor signaal-ruisverhoudingen van 73 dB-Hz voor hoofdpolarisatie en 23 dB-Hz voor de kruispolarisatie zijn de berekende loopband-breedtes resp. 100 Hz en 10 Hz, resulterend in een dynamisch bereik groter dan 40 dB.
Bij deze kleine loopband-breedtes moet gezorgd worden voor een stabiel local-oscillator signaal. Voor de oscillator keten, waarvan de opbouw in Fig. 10 gegeven wordt, is uitgegaan van een uiterst stabiele frekwentie standaard met een dagelijks verloop kleiner dan 10^{-11}.
Het *weerstation* is schematisch weergegeven in Fig. 11 en in detail elders (5).
Zoals gezegd blijkt het weer op radio propagatie bij frekwenties van 30 GHz bijzonder van invloed te zijn.
Met name kan regen zorgen voor aanzienlijke demping en tevens de oorzaak zijn van een stijgende kruispolarisatie. Teneinde een mogelijkheid te hebben om de meetresultaten bij 30 GHz te correleren met weergegevens is dit weerstation ontworpen. De mogelijkheid bestaat om de volgende weergegevens te meten: regenhoeveelheid in mm/uur, buitentemperatuur, relevante vochtigheid, luchtdruk, windrichting, windsnelheid terwijl tevens een inrichting aanwezig was voor het meten van de regendruppelgrootte verdeling. De weergegevens werden vastgelegd door een 12-kanaals-schrijver en tevens op ponsband. Deze ponsband kon dan later verwerkt worden door middel van een computer. Op deze wijze kon de hittegolf van zomer 1976 worden geregistreerd waarbij de temperatuur bij het grondstation 3 dagen boven 35° C en 14 dagen boven 30° C uitkwam (Fig. 12). Gedurende het tijdvak van 3 oktober 1975 tot 3 september 1976 is tevens de cumulatieve regenintensiteitsverdeling opgemaakt. Vergeleken met de aanbevolen curves van het CCIR (6) blijkt 1976 statistisch een bijzonder droog jaar geweest te zijn (Fig. 13).
Voor de *registratie* van de meetdata van het ATS-6 satelliet projekt is gebruik gemaakt van een, door de vakgroep gebouwde, registratie unit.
Deze unit is voorzien van een programmeer mogelijkheid voor het wijzigen van het format waarin de datastroom is vastgelegd.
De volgende signalen werden geregistreerd:
- de regenhoeveelheid,
- het hoofdpolarisatie signaal,
- het kruispolarisatie signaal,
- het radiometer signaal.

Tevens werd ook de real time aan het begin van het format geregistreerd. Op deze wijze ontstond het volgende tijdvolgorde diagram (Fig. 14).
Tijdens het richten van de antenne werd er niet geregistreerd. Altijd werd gestart bij registratie met de real time informatie. De registratie unit was zodanig ingericht dat diverse meetsnelheden met de hand ingesteld konden worden (bijv. bij scintillatie metingen). De verzamelde data werden op een ponsband vastgelegd, waarna de verwerking werd uitgevoerd op de Burroughs computer in het rekencentrum van de THE. Door middel van een rekenprogramma werd de data met een ijktabel gecorrigeerd. Het gehele programma gaf als output diverse diagrammen.

3. MEETRESULTATEN

De satelliet ATS-6 was voor het doen van het millimetergolf experiment bij 20 en 30 GHz meestal slechts enkele uren per etmaal beschikbaar. Zodoende waren statistische metingen over langere tijd onmogelijk. Het is echter toch mogelijk geweest enige interessante gegevens te verzamelen betreffende de demping op het pad satelliet-aarde, de kruispolarisatie, regen- en fazemetingen en correlatie met de radiometer metingen (7).

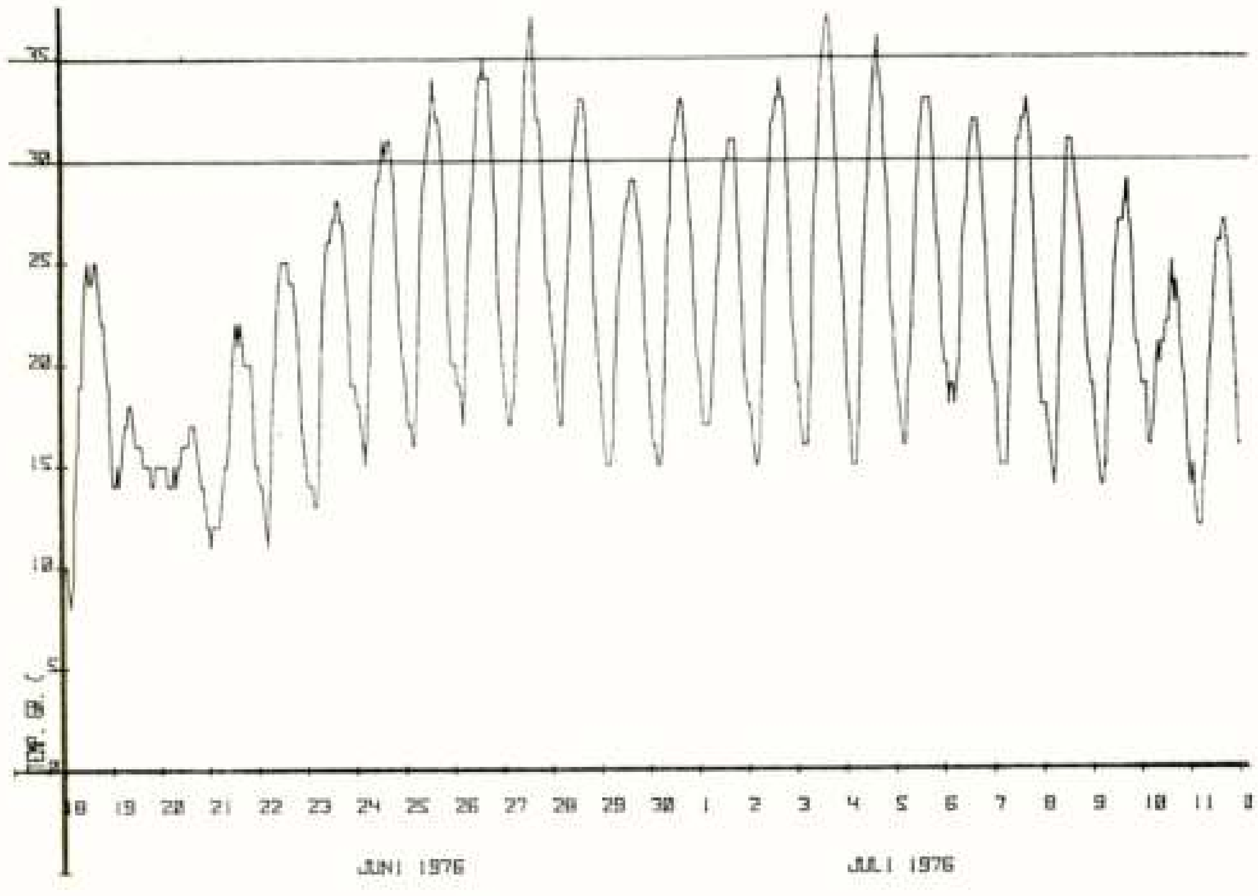


Fig. 12. Temperatuur registratie gedurende de hittegolf van 1976.

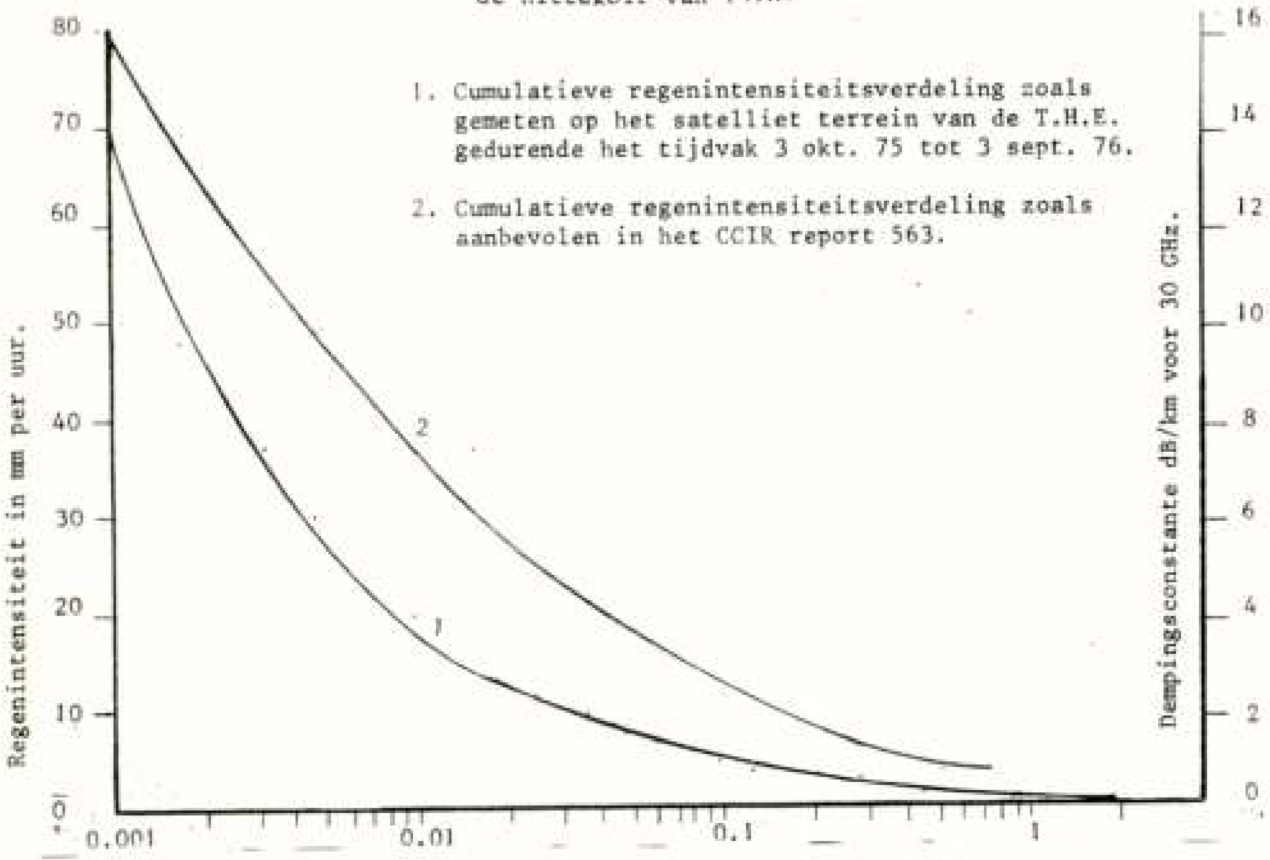


Fig. 13. Cumulatieve regenintensiteits verdeling.

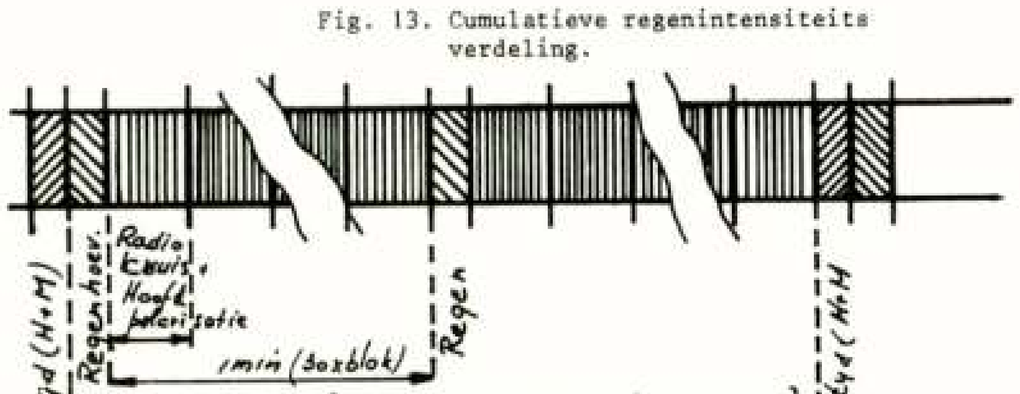


Fig. 14. Tijd volgorde diagram van gemeten waarden.

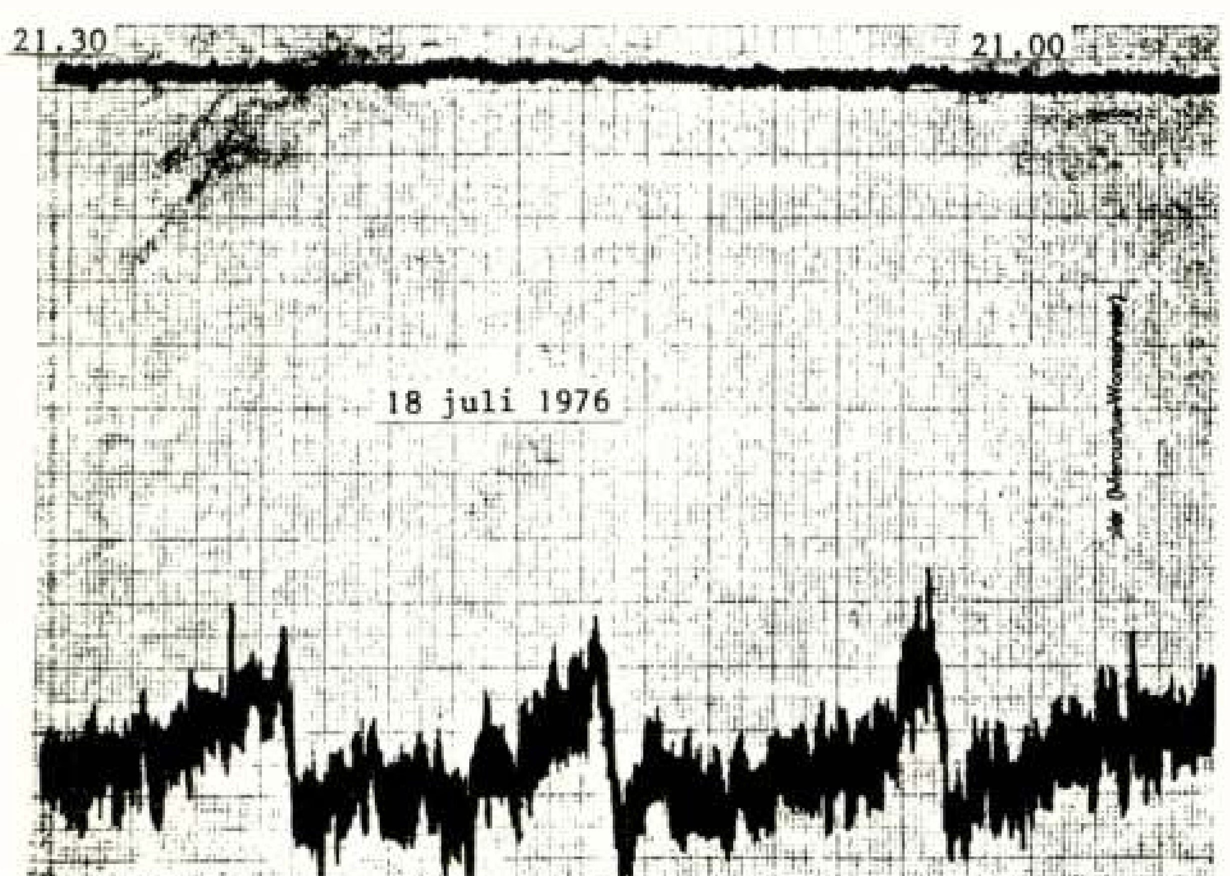


Fig. 15. Invloed van draaiingen van het polarisatievlak van de satelliet op de kruispolarisatie.

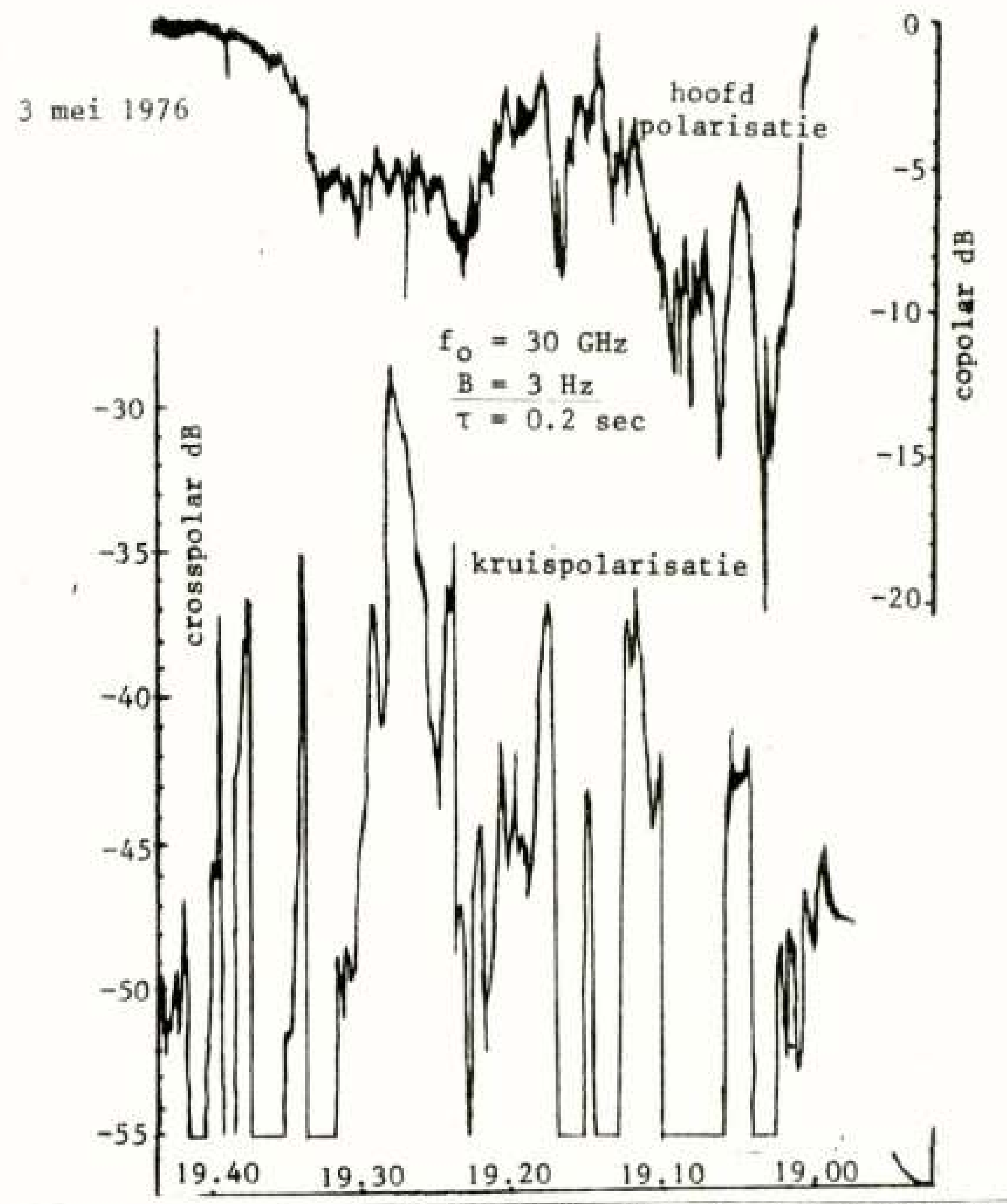


Fig. 16. Hoofd- en kruispolarisatie signalen gedurende de onweersbui van 3 mei 1976.

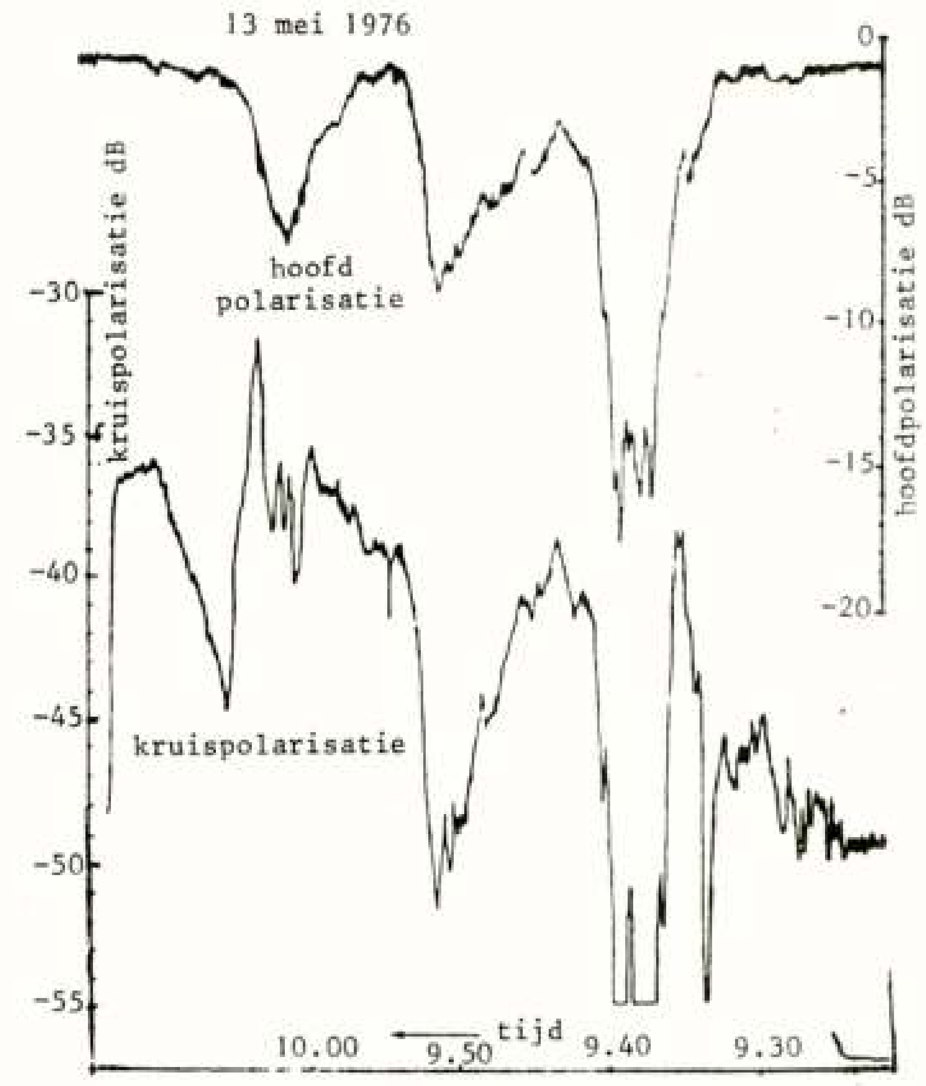


Fig. 17. Hoofd- en kruispolarisatie signalen gedurende de onweersbui van 13 mei 1976.

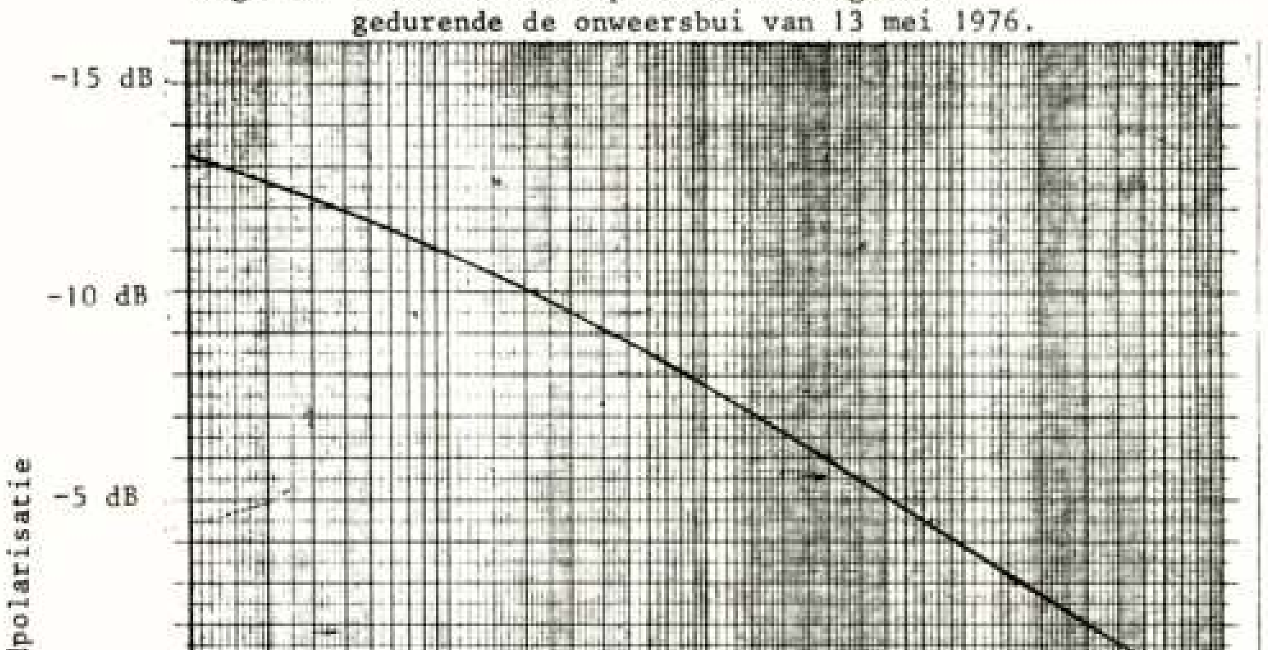


Fig. 18. Cumulatieve verdeling van het hoofdpolarisatie signaal.

Deze metingen zijn lang niet alle van het begin af voorspoedig verlopen. Vele moeilijkheden ook extern moesten worden overwonnen, waarvan wij mogen noemen: het niet constant zijn van het satelliet signaal met verschillen soms van 2 dB per etmaal; polarisatie fouten door draaiingen van de satelliet (Fig. 15); water op de belichter en antenne; het bepalen van een juist referentie niveau; defekten aan de apparatuur.
De meest spektakulaire metingen vonden plaats op 3 en 13 mei 1976 toen Eindhoven werd getroffen door zware onweersbuien. In Fig. 16 en 17 wordt zowel het hoofd- als het kruispolarisatie signaal weergegeven gedurende deze buien. Hierbij valt op dat dempingen tot 20 dB zijn opgetreden en dat de isolatie tussen hoofd- en kruispolarisatie minder was dan 20 dB. Meer in detail zijn deze evenementen elders beschreven (8, 9).
Ondanks de beperkte meettijd konden toch enige cumulatieve verdelingen uitgewerkt worden welke aangegeven zijn in Fig. 18 en Fig. 19.
Bijzondere aandacht is gewijd aan het z.g. scintillatie verschijnsel. Dit verschijnsel dat veroorzaakt wordt door kleine veranderingen in de brekingsindex uit zich een ruisachtig verschijnsel gesuperponeerd op de amplitude van het ontvangen signaal (Fig. 20).
De metingen vertonen duidelijke verschillen tussen dag en nacht en tevens verschillen bij heldere en bewolkte hemel. Gedurende regenbuien wordt de scintillatie meestal kleiner.
Niet alleen het hoofdpolarisatie signaal vertoont scintillatie doch tevens het kruispolarisatie signaal. De maximale fluktuaties in het hoofdpolarisatie signaal bedroegen ca 7 dB, in het kruispolarisatie signaal echter veel hoger tot ca 10 dB.
In een reeds eerder verschenen publikatie (10) wordt de meetopstelling om het signaal te analiseren nader beschreven en worden gemeten vermogens spectra aangegeven. Het is gebleken dat het merendeel van het vermogen geconcentreerd is in een frekwentieband beneden 2 Hz.

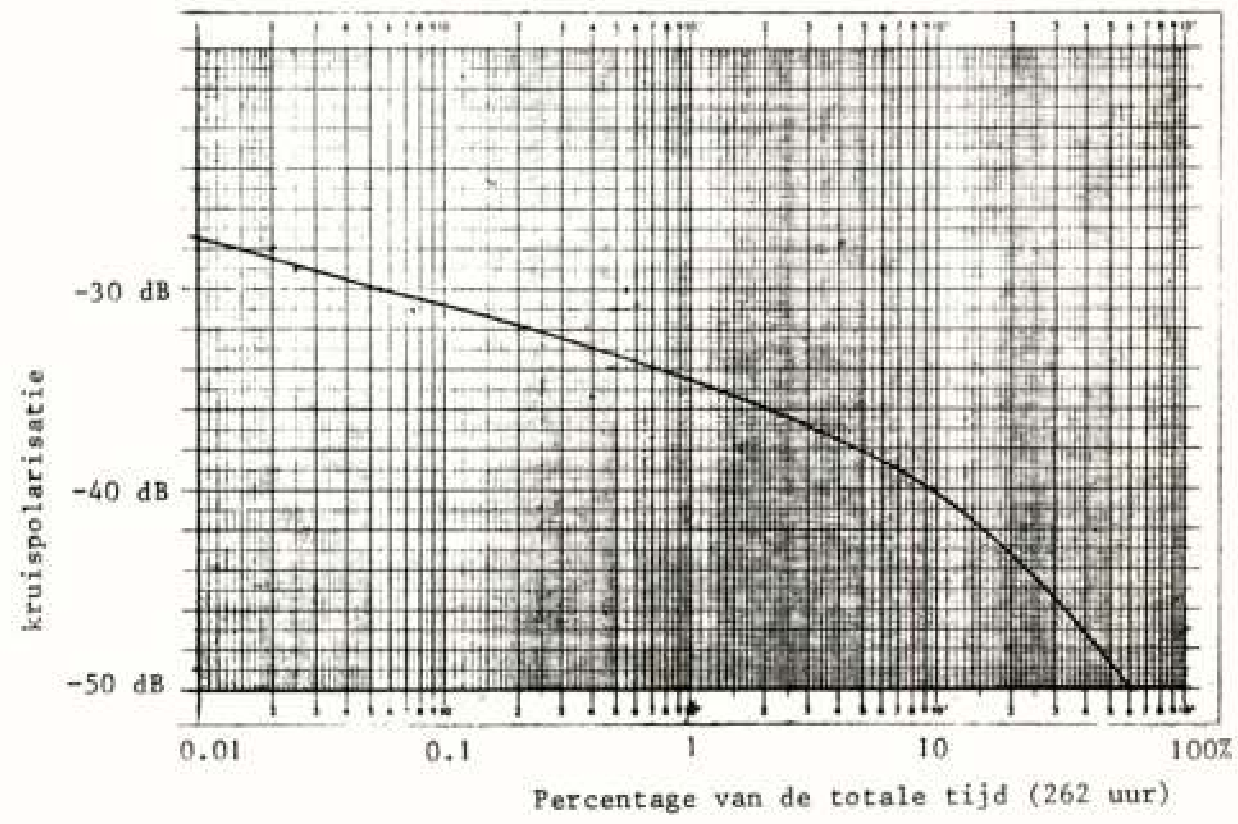


Fig. 19. Cumulatieve verdeling van het kruispolarisatie signaal.

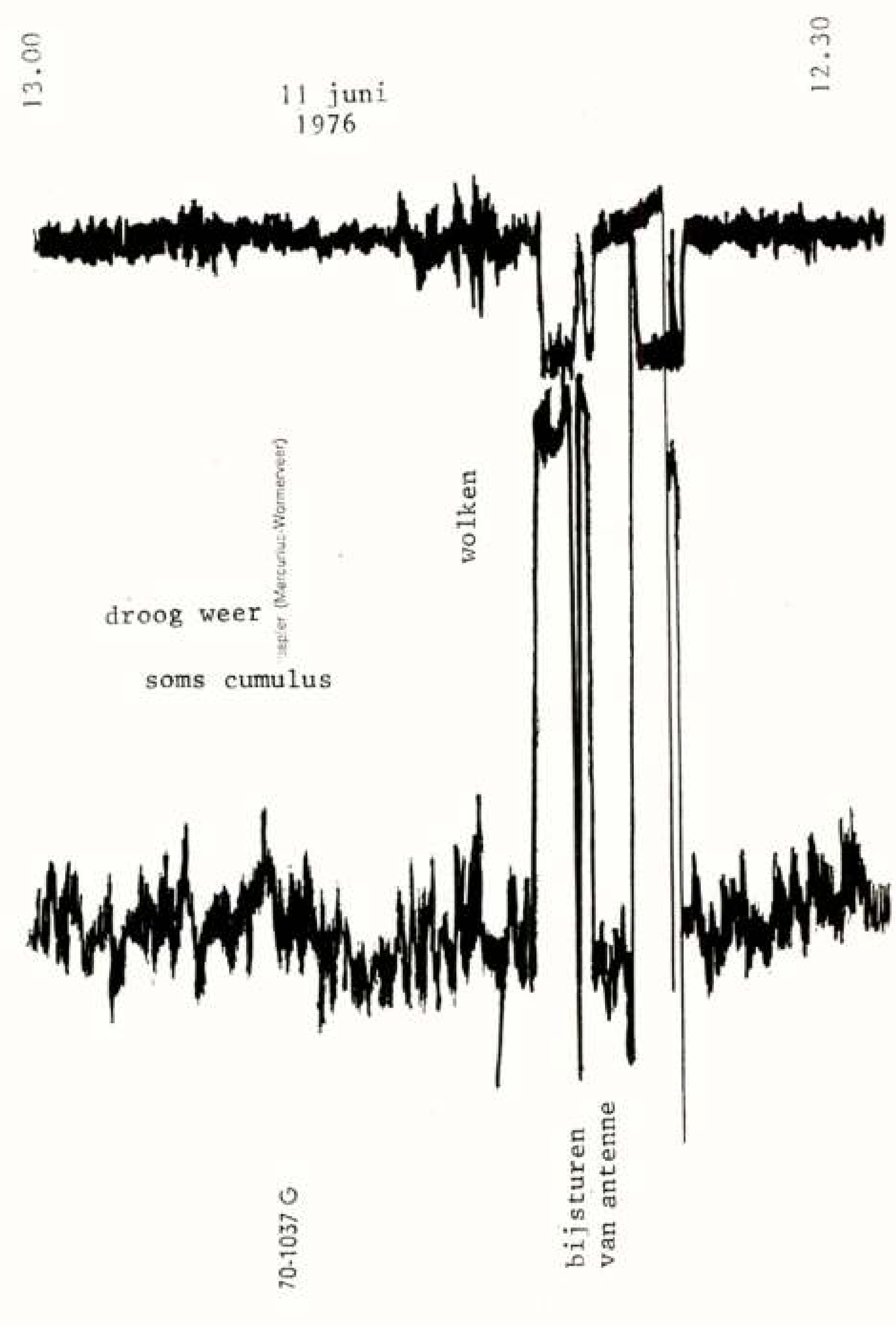


Fig. 20. Amplitude scintillatie.

DANKWOORD

De schrijvers wensen hun dank uit te spreken aan prof. ir. B. van Dijl en de heren A. Abels, K. Breukers, J. Faatz, C.A.M. Geus, G. Goltstein, K.G. Holleboom, P.F. Maartense, J. Neessen, P. Oostvogels, J. Ouderling, P.J. Roelandschap, A.C.A. van der Vorst, M.J.M. van Weert, P.J. de Winter, L.J.M. Wijdemans en F. Zelders voor hun bijdragen tot de ATS-6 experimenten door het ontwerpen van apparatuur, het uitvoeren van metingen, het verzamelen van weergegevens, het maken van computer programma's en voor de vele discussies en voorbereidingen aan dit onderwerp gewijd.
Bijzondere dank zijn de schrijvers verschuldigd aan mevr. T. van de Ven - Pellegrino voor de voortreffelijke wijze waarop zij alle publikaties van het ATS-6 projekt heeft verzorgd.

LITERATUUR

1. L.J. Ippolito: "Millimeter Wave Propagation and Communication Experiments at 20 and 30 GHz", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-11, pp. 1067-1084, Nov. 1975.
2. J. Ruze: "Antenna Tolerance Theory - A Review", Proc. IEEE, Vol. 54, no. 4, pp. 633-639, 1966.
3. J. Dijk, E.J. Maanders and M.J.M. Oostvogels: "An Antenna Mount for Tracking Geostationary Satellites", TH Report 77-E-74, 41 pages, Eindhoven University of Technology, May 1977.
4. A.G.J.M. Abels en W. Appel: "Weerstation ten behoeve van propagatie experimenten", Afstudeerwerk TH Eindhoven, Afdeling Elektrotechniek, maart 1976.
5. Rapport 563: "Radiometeorological data", CCIR, Study Group 5, Geneva 1975.
6. F. Zelders: "Het radiometer experiment bij 30 GHz", in dit nummer van het NERG tijdschrift.
7. J. Dijk en E.J. Maanders: "ATS-6 Satellite 30 GHz Propagation Measurements during heavy thunderstorms", Journal of the British Interplanetary Society, Vol. 30, no. 4, pp. 143-147, April 1977.
8. J. Dijk en E.J. Maanders: "Copolar and Cross-polar Signals Received at 30 GHZ from ATS-6", URSI Symposium in non-ionized media, La Baule (Frankrijk), 28 april - 6 mei 1977.
9. J. Dijk, E.J. Maanders en P.J. de Winter: "Scintillation effects receiving ATS-6 at 30 GHz", URSI Symposium Propagation in non-ionized media, La Baule (Frankrijk), 28 april - 6 mei 1977.
10. J.P. van der Fluit: "Faraday rotatie en amplitude scintillatie op het bakensignaal van de ATS-6 bij 360 MHz", in dit nummer van het NERG tijdschrift.

Voordracht gehouden op 1 december 1976 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 260) de Sectie Telecommunicatie-Techniek van het KIvI en de Benelux section IEEE.

HET RADIOMETER EXPERIMENT BIJ 30 GHz

Ir. F. Zelders
Afdeling Elektrotechniek, Technische Hogeschool Eindhoven
Vakgroep Communicatiesystemen

Summary

The paper discusses some of the principles of measuring noise power by means of a radiometer. A radiometer for 30 GHz has been realised. Comparison of the radiometer measurements with attenuation measurements at the 30 GHz downlink of ATS-6 shows clear correlation. A theoretical model of the atmosphere is presented enabling theoretical noise calculation and comparison with measured data.

1. INLEIDING

Simultaan met het ATS-6 mm wave experiment is een radiometer experiment bij 30 GHz uitgevoerd, teneinde te zoeken naar een correlatie tussen het 30 GHz satellietsignaal en het simultaan optredende radiometersignaal. Het was voor de eerste maal dat op de Technische Hogeschool Eindhoven een radiometer voor deze frekwentie opgesteld werd. Gedurende het experiment zijn er enkele problemen aan het licht gekomen, die bij een eventuele voortzetting van het experiment verwerkt zullen worden. Desalniettemin is met de gerealiseerde opstelling de aanwezigheid van bovengenoemde correlatie aangetoond, zodat het mogelijk is om met behulp van het radiometer signaal een zekere voorspelling te doen omtrent de propagatie eigenschappen van de atmosfeer bij 30 GHz. In het kader van dit experiment zijn bovendien theoretische antennetemperatuur berekeningen gedaan waarbij gebruik werd gemaakt van een theoretisch model van de atmosfeer, teneinde deze theoretische resultaten te verifiëren met de in werkelijkheid gemeten antenne temperatuur. Voordat de radiometer besproken wordt is het nuttig om ons te verdiepen in het begrip ruis en wat daarmee samenhangt.

1.1. Ruistemperatuur

Het is bekend dat een zwarte straler op fysische temperatuur T (Kelvin) bij radiofrekwenties d.w.z. $f \gg \frac{kT}{h}$ met k = constante van Boltzmann, h = constante van Planck en T een ruisvermogen in de frekwentieband, met breedte B, uitzendt ter grootte $P = kTB$. (1.1)

Dit is de z.g. Rayleigh-Jeans benadering van de stralingswet van Planck.

Uit vergelijking (1.1) blijkt dat het betreffende ruisvermogen ook te identificeren is met een z.g. equivalente ruistemperatuur T. Wanneer er in het vervolg van deze publikatie over een ruistemperatuur T (Kelvin) gesproken wordt, wordt hiermede bedoeld dat er sprake is van een ruisvermogen P_N in de frekwentieband met bandbreedte B die berekend kan worden met behulp van vergelijking (1.1)

1.2. Transmissie van ruis door een homogeen medium

We gaan nu onderzoeken wat het gedrag is van ruis, in de vorm van elektromagnetische straling, wanneer het zich voortplant door een of ander medium. Om eem model op te zetten voor dit onderzoek stellen we een homogeen medium voor door een tweepoort met een ingang en een uitgang. De aanname die hierbij gedaan wordt, is dat de tweepoort gevoed wordt uit een bron en belast wordt op een zodanige wijze dat er sprake is van volledige aanpassing (geen reflekties). Schematisch wordt de situatie aangeduid zoals in figuur 1.2.1.

Een tweepoort bevindt zich op een fysische temperatuur T_o (Kelvin). We beschouwen eerst de situatie, dat aan de tweepoort een vlakke elektromagnetische golf, met een frekwentie f_o, en een vermogen P_i wordt aangeboden. De golf plant zich voort in de positieve x-richting. Voor de tweepoort kunnen we nu een transmissie coëfficient t definiëren die het verband aangeeft tussen het aan de uitgang van de tweepoort beschikbare vermogen P_u, dat ontstaat ten gevolge van het aangeboden vermogen P_i:

$$t \triangleq \frac{P_u}{P_i} \qquad (t \leq 1) \tag{1.2}$$

Uit verg. (1.2) blijkt dat een gedeelte $(1-t)P_i$ geabsorbeerd wordt.

Bieden we nu niet een signaal maar een ruisvermogen aan, dat we voorstellen door een ruis temperatuur T_{in}, dan blijkt de ruis temperatuur aan de uitgang, T_{uit}, te voldoen aan de nu volgende vergelijking:

$$T_{uit} = tT_{in} + (1-t)\ T_o \tag{1.3}$$

met t gedefinieerd volgens verg. (1.2).

1.3. Transmissie van ruis door een niet-homogeen medium

In het voorgaande was er sprake van een homogeen medium, hetgeen wil zeggen dat de fysische opbouw van het medium tussen de positie $x = x_o$ en $x = x_o + 1$ overal identiek is. In werkelijkheid zal het medium niet homogeen zijn. De fysische samenstelling en temperatuur zal van plaats tot plaats verschillen, dus ook de absorberende eigenschap van het medium zal plaats afhankelijk zijn. Beschouw figuur 1.3.1.

We delen nu het medium op in een groot aantal stukjes, zich uitstrekkend over een lengte Δx, waarbinnen aangenomen wordt dat het medium homogeen is en een constante fysische temperatuur $T_{med}(x)$ heeft. De transmissie van

een infinitesimaal stukje duiden we aan met $t_x(\Delta x)$, zodat (zie figuur 1.3.2) het verband tussen $P(x+\Delta x)$ en $P(x)$, resp. het vermogen van de vlakke golf op positie $x + \Delta x$ ten gevolge van een vlakke golf op positie x, te beschrijven is volgens:

$$P(x+\Delta x) = t_x(\Delta x)\ P(x) = P(x)-\{1-t_x(\Delta x)\}P(x). \quad (1.4)$$

We zien dat in het infinitesimale stukje een gedeelte $\{1-t_x(\Delta x)\}P(x)$ van het aangeboden vermogen $P(x)$ door dit gebiedje wordt geabsorbeerd. Er wordt nu een absorptie coëfficient $\alpha(x)$ gedefinieerd die aangeeft welk deel van het aangeboden vermogen per lengte eenheid wordt geabsorbeerd:

$$\alpha(x) = \frac{P(x) - P(x+\Delta x)}{\Delta x} = \frac{1 - t_x(\Delta x)}{\Delta x} \quad (1.5)$$

of te wel

$$1 - \alpha(x)\Delta x = t_x(\Delta x) \quad (1.6)$$

Beschouwen we nu het gedrag van ruis in een niet-homogeen medium. Ook nu is vergelijking (1.3) weer bruikbaar maar dan toegepast op een infinitesimaal gebiedje:

$$T(x+\Delta x) = t_x(\Delta x)T(x) + \{1-t_x(\Delta x)\}T_{med}(x)$$
$$= \{1-\alpha(x)\Delta x\}T(x) + \alpha(x)\Delta x\ T_{med}(x) \quad (1.7)$$

Uit deze betrekking volgt:

$$\frac{T(x+\Delta x) - T(x)}{\Delta x} = -\alpha(x)T(x) + \alpha(x)T_{med}(x) \quad (1.8)$$

We laten nu de lengte Δx tot nul naderen en gaan dus van de discrete situatie (aaneenschakeling van $\frac{1}{\Delta x}$ tweepoorten) over naar een continue situatie ($\alpha(x)$ en $T_{med}(x)$ zijn continue funkties, hetgeen aannemelijk is). Dan ontstaat:

$$\lim_{\Delta x \to o} \frac{T(x+\Delta x)-T(x)}{\Delta x} = \frac{dT(x)}{dx} = -\alpha(x)T(x)+\alpha(x)T_{med}(x) \quad (1.9)$$

Vergelijking (1.9) is te herschrijven volgens:

$$T'(x) + \alpha(x)T(x) = \alpha(x)T_{med}(x) \quad (1.10)$$

Dit is een D.V. van het Leibnitz type met als oplossing:

$$T(x)=T(o)\exp\{-\int_o^x \alpha(x')dx'\}+\exp\{-\int_o^x \alpha(x')dx'\}) * \int_o^x \alpha(x'')T_{med}(x'')\exp\{\int_o^{x''} \alpha(x')dx'\}dx'' \quad (1.11)$$

Uit de vergelijking (1.4) en (1.6) volgt, na limiet overgang $\Delta x \to o$:

$$\lim_{\Delta x \to o} \frac{P(x+\Delta x) - P(x)}{\Delta x} = P'(x) = -\alpha(x)P(x) \quad (1.12)$$

of $$P'(x) + \alpha(x)\ P(x) = 0 \quad (1.13)$$

Let wel, hier is weer sprake van vlakke golven (signaal met frekwentie f_o). Dit is een homogene D.V. met als oplossing:

$$P(x) = P(o)\ \exp\{-\int_o^x \alpha(x')dx'\} \quad (1.14)$$

Bereken we met behulp van (1.14) het verband tussen het in- en uitgangsvermogen dan vinden we:

$$\frac{P(1)}{P(o)} = \exp\ \{-\int_o^1 \alpha(x')dx'\} \triangleq t \quad (1.15)$$

Conclusie: bieden we aan een tweepoort met positie-afhankelijke absorptie coëfficient $\alpha(x)$ en fysische temperatuur $T_{med}(x)$ een ruisvermogen aan met een equivalente ruistemperatuur $T(o)$ dan is het aan de uitgang van het medium beschikbare ruisvermogen uit te drukken in een equivalente ruistemperatuur $T(1)$ volgens de nu volgende vergelijking:

$$T(1) = tT(o) + (1-t)T_{abs}$$

met $$T_{abs} = \frac{t\int_o^1 \alpha(x'')Tmed(x'')\exp\{\int_o^{x''} \alpha(x')dx'\}dx''}{1 - t} \quad (1.16)$$

en $$t = \exp\{-\int_o^1 \alpha(x')dx'\}$$

Gezien de gedaante van de oplossing (verg. 1.16) kunnen we, om het model te vereenvoudigen, het niet-homogene medium beschouwen als een homogeen medium met een transmissie coëfficient t en dat zich op een equivalente fysische temperatuur T_{abs} (absorber temperatuur) bevindt, zodat dan weer vergelijking (1.3) gehanteerd kan worden:

$$T(1) = tT(o) + (1-t)T_{abs}.$$

Uit deze vergelijking volgt:

$$t = \frac{T_{abs} - T_{(1)}}{T_{abs} - T_{(o)}} \quad (1.17)$$

We zien dat indien T_{abs} bekend is, we in staat zijn, door bepaling van $T_{(o)}$ en $T_{(1)}$, de transmissie coëfficient van het medium te berekenen. Er dient opgemerkt te worden dat alleen een transmissie coëfficient t.g.v. de absorptie bepaald kan worden.

Naast absorptie kunnen er nog andere effekten optreden zoals verstrooiing en depolarisatie van een vlakke golf, die ook afname van de transmissie coëfficient ten gevolge kunnen hebben.

2. DE ATMOSFEER

2.1. Inleiding

De atmosfeer is een medium met absorberende eigenschappen

zodat de in het vorige gedeelte genoemde beschouwingen ook toegepast kunnen worden. Onze belangstelling gaat uit naar de propagatie eigenschappen van elektromagnetische golven in de atmosfeer, in het bijzonder bij 30 GHz. De moleculen, in de atmosfeer aanwezig, die van invloed zouden kunnen zijn omdat ze absorberende eigenschappen hebben en de concentratie niet verwaarloosbaar klein is, kan men opsplitsen in twee groepen.
De eerste groep omvat O_3, NO, NO_2, N_2O, SO_2, CO en CO_2, de tweede groep bestaat uit H_2O en O_2. In Lit. (1) wordt aangetoond dat de bijdrage tot de totale absorptie in de atmosfeer door de eerste groep minder dan 0,1% van het totaal bedraagt bij de voor ons van belang zijnde frekwenties. Men kan nu stellen dat de absorptie eigenschappen van de atmosfeer veroorzaakt worden door de aanwezigheid van H_2O in diverse vormen (waterdamp, wolken, mist, regen, hagel, sneeuw) en zuurstof (O_2).

2.2. Toepassing van het model op de atmosfeer

Indien we aannemen dat de atmosfeer horizontaal gelaagd is en het absorptiecoëfficient-, temperatuur- en brekingsindex profiel van de atmosfeer bekend is, kunnen we het model uit hoofdstuk 1 (fig. 1.3.1) gaan toepassen op de atmosfeer.
We zijn in staat om de baan uit te rekenen die een elektromagnetische golf (met een frekw. van 30 GHz) door de atmosfeer af zou leggen. Beschouw fig. 2.2.1.
In fig. 2.2.1. wordt deze baan aangeduid met de kromme S Punt B identificeren we met de ingang van de tweepoort uit figuur (1.3.1), het waarnemingspunt P met de uitgang van de tweepoort. De positieve x-richting uit fig. 1.3.1 komt overeen met de baan S. De ruistemperatuur die waargenomen kan worden in punt B wordt nu brightness-temperatuur T_B genoemd.
Als de toestand van de atmosfeer voldoet aan z.g. "clear sky condities", d.w.z. er bevinden zich geen wolken, regen, sneeuw, mist of hagel in de atmosfeer, dan zijn de al eerder genoemde profielen bekend en zijn we in staat de transmissie coëfficient van het pad BP door de atmosfeer te berekenen m.b.v. de vergelijkingen (1.17) en (1.16).
Bij de voor ons van belang zijnde frekwenties mag aangenomen worden dat de ruistemperatuur T(o), die van buiten de atmosfeer afkomstig is, vele malen kleiner is dan de absorber-temperatuur hetgeen blijkt uit theoretische berekeningen. Bovendien wijkt T(o) zeer weinig af van 0 Kelvin zodat vergelijking (1.17) vereenvoudigd kan worden tot:

$$t_{at} \approx \frac{T_{abs} - T_B}{T_{abs}} = 1 - \frac{T_B}{T_{abs}} \qquad (2.1)$$

Als we over de atmosferische demping A_{at} spreken dan geldt:

$$A_{at} = 10\,{}^{10}\log t_{at} = 10\,{}^{10}\log\left(1 - \frac{T_B}{T_{abs}}\right)\text{dB} \qquad (2.2)$$

We zien dat, indien de absorber-temperatuur bekend is en de brightness temperatuur gemeten kan worden, we in staat zijn om de atmosferische demping te berekenen die een signaal van 30 GHz op zijn weg door de atmosfeer (volgens baan S) zou ondervinden volgens verg. (2.2).
Op de Technische Hogeschool Eindhoven zijn theoretische berekeningen gemaakt van de brightness temperatuur en de absorber temperatuur van de atmosfeer wanneer deze zich in een clear sky conditie bevindt. Lit. (2). Een resultaat is afgebeeld in fig. 2.2.2.
Bij de berekeningen is er van een samenstelling van de atmosfeer uitgegaan, die bepaald wordt volgens een model waarbij de weergegevens op de grond (temperatuur, luchtdruk en vochtigheid) bepalend zijn. Figuur 2.2.2 laat drie curven zien die resp. de maximaal optredende brightness temperatuur, de gemiddeld optredende brightness temperatuur en de minimaal optredende brightness temperatuur voorstellen, die zouden optreden in het winterseizoen 1975/1976, waarbij gebruik is gemaakt van de weergegevens zoals die geregistreerd zijn op het weerstation van de THE. Deze gegevens zijn weergegeven in tabel 2.1.

	T^o(C)	Pmm Hg	Rel. Vocht %
T_B max	10	774,0	89
T_B gem	2,3	759,5	92
T_B min	-7	758,0	75

Tabel 2.1 Weergegevens winterseizoen 1975/1976

Om een beeld te krijgen van de demping die elektromagnetische golven zullen ondervinden omdat deze zich voortplanten door een medium waarin zich H_2O bevindt, is tabel 2.2 afgebeeld. In de tabel is voor de frekwenties 10, 30 en 100 GHz vermeld welke demping het signaal zal ondervinden nadat het een trajekt heeft afgelegd dat steeds dezelfde hoeveelheid H_2O bevat. Het trajekt bestaat uit een 1 mm dikke waterfilm, óf een regenbui met een doorsnede van 10 km(dichtheid 1 gr/m^3) of een nevelwolk met een doorsnede van 10 km (dichtheid van 0,1 gr/m^3).

	10 GHz	30 GHz	100 GHz
waterfilm (1 mm dik)	3 dB	15 dB	40 dB
regen (1 gr/m^3)	5 dB	4 dB	11 dB
nevel (0,1 gr/m^3	≤0,1 dB	4 dB	3,5 dB

Tabel 2.2 Demping t.g.v. H_2O.

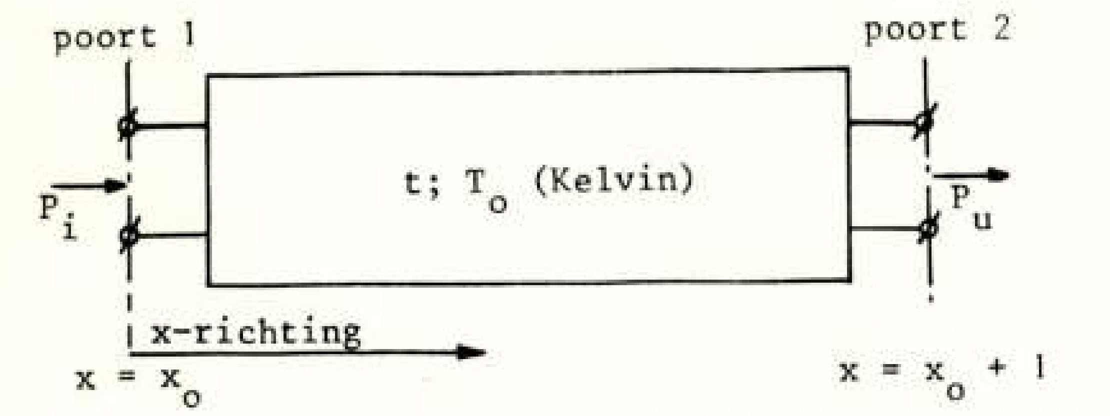


Fig. 1.2.1. Tweepoort als aequivalent van het medium.

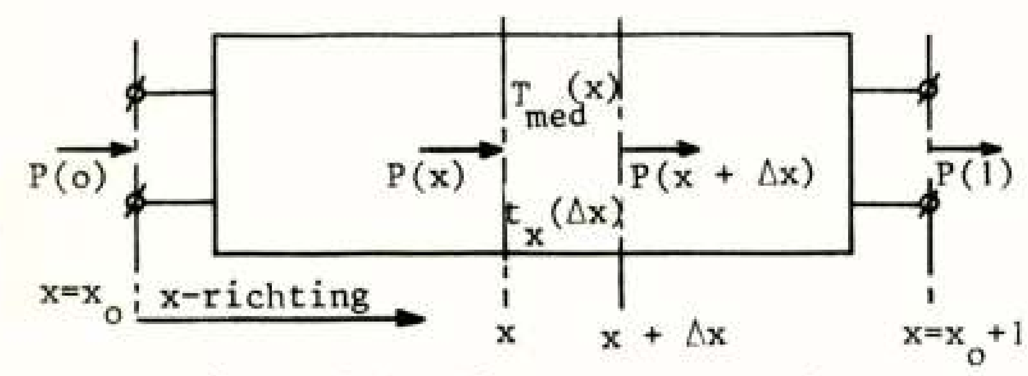


Fig. 1.3.1. Niet homogeen medium.

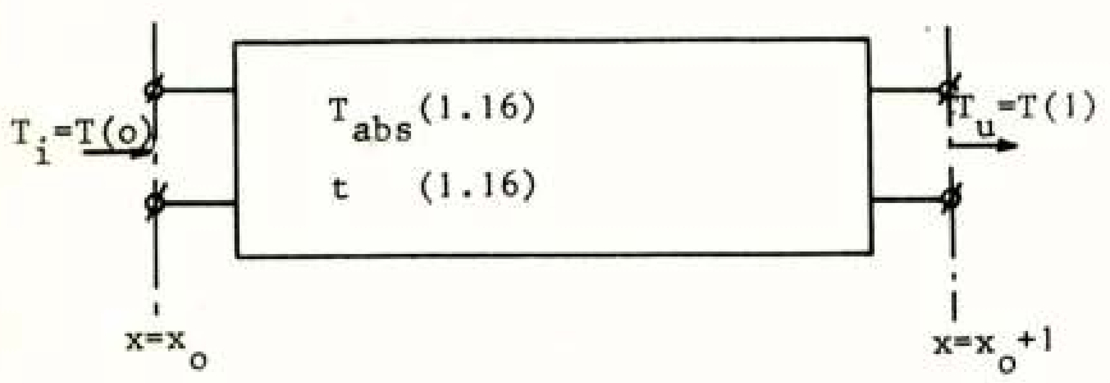


Fig. 1.3.2. Aequivalent voor niet homogeen medium.

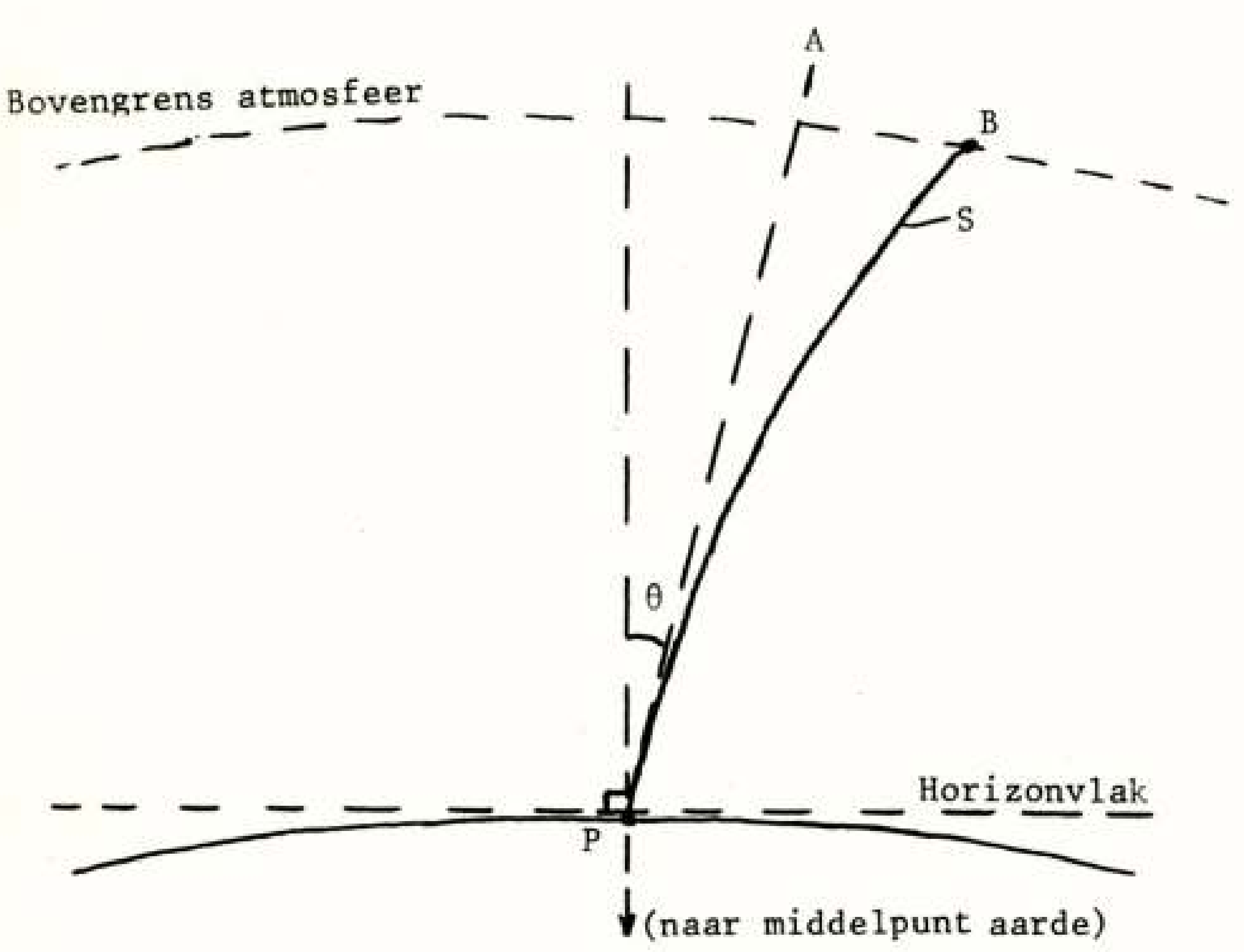


Fig. 2.2.1. Baan van een elektromagnetische golf door de atmosfeer.

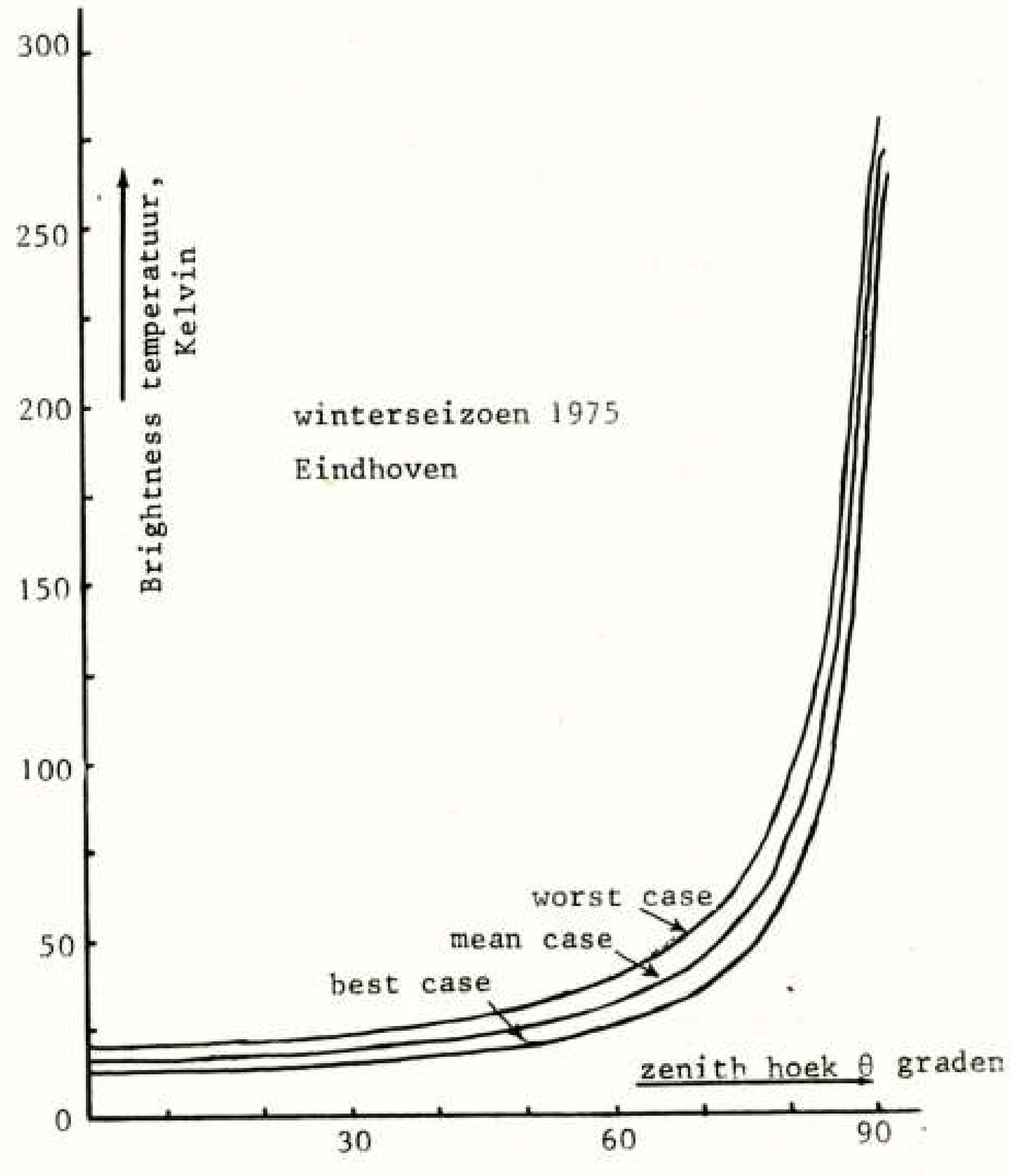


Fig. 2.2.2. T_B als funktie van de zenith hoek θ.

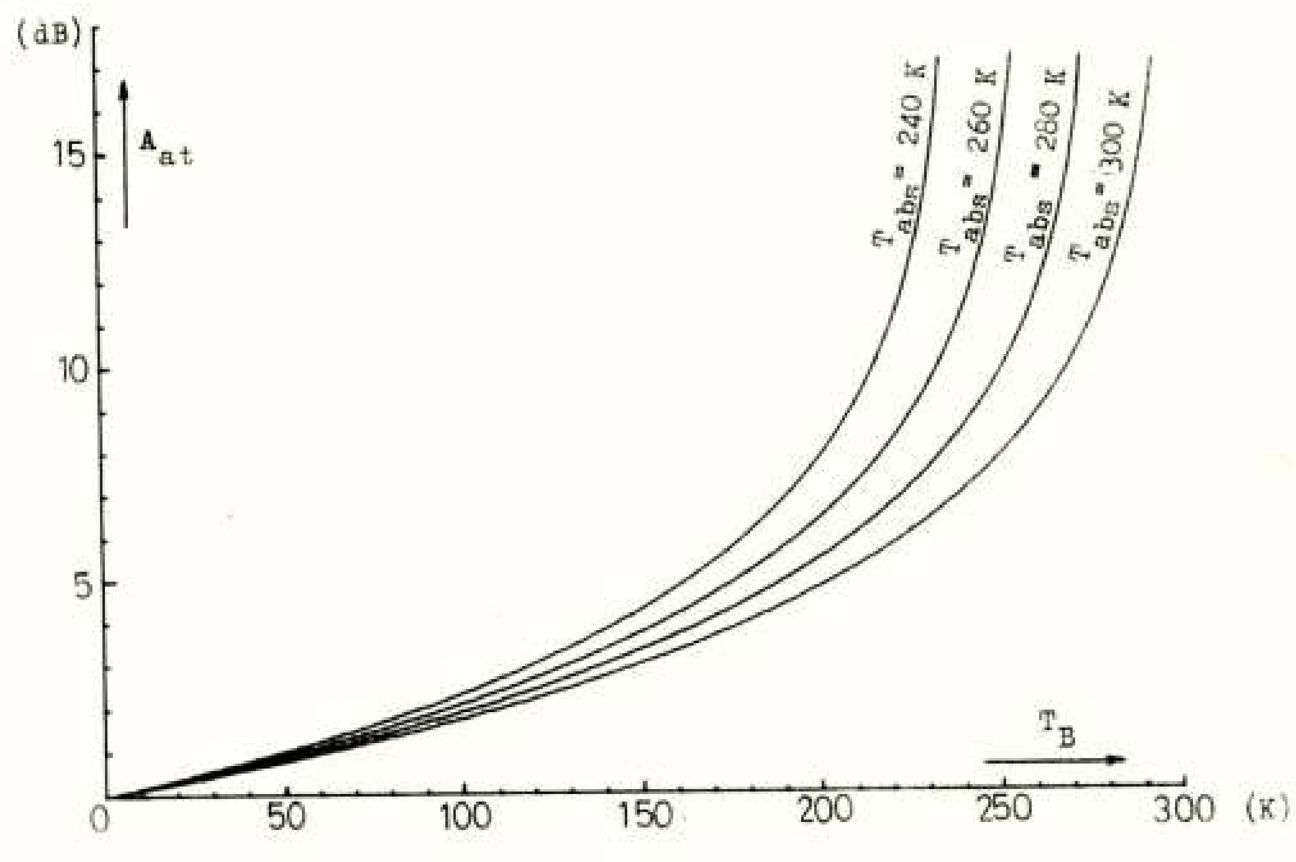


Fig. 2.2.3. Verband tussen A_{at} en T_B.

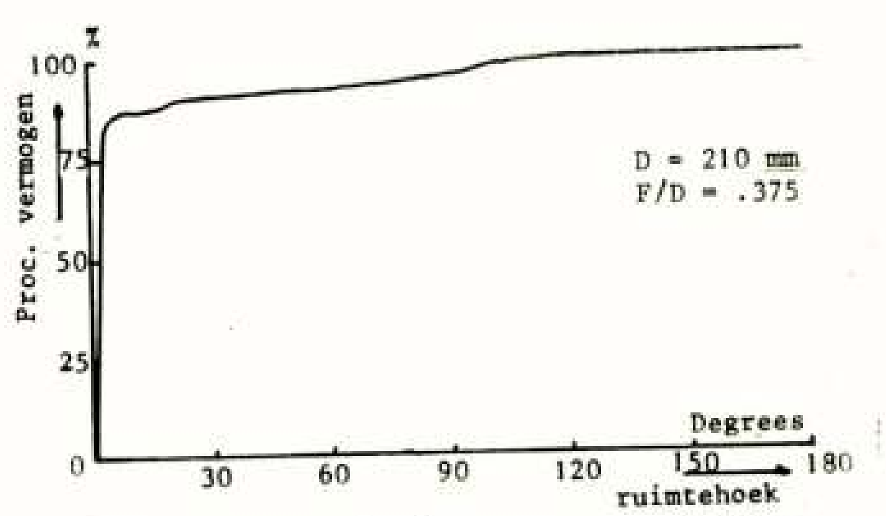


Fig. 2.2.4. Cumulatieve vermogensverdeling.

We zien dat voor de verschillende configuraties van H_2O de demping, die optreedt, nogal verschillend is. Dientengevolge zal de brightness temperatuur voor de drie beschouwde media verschillend zijn.
Het spreekt vanzelf dat het moeilijk zal zijn om de waarde van de absorbertemperatuur te berekenen.
We beschouwen vergelijking (2.2) nader. Figuur 2.2.3 is een afbeelding van de demping A_{at} als funktie van de brightness temperatuur T_B, voor verschillende waarden van de absorbertemperatuur, T_{abs}. Voor lage waarden van T_B (deze treden op bij clear sky condities van de atmosfeer) blijkt dat de curven voor T_{abs} = 240, 260, 280, 300 K elkaar weinig ontlopen. Voor hogere waarden (bewolking, mist, regen, sneeuw) is de juiste keuze van T_{abs} zeer belangrijk omdat anders aanzienlijke fouten worden gemaakt bij de berekening van de demping m.b.v. vergelijking (2.2).
Als de mogelijkheid bestaat om de demping, A_{at}, en de tegelijkertijd optredende brightness temperatuur T_B te meten, zijn we in staat om experimenteel de juiste waarde van T_{abs} te bepalen. Uit de literatuur Lit.(3) blijkt dat, bij 30 GHz, de waarde van T_{abs} de grootte-orde heeft van 275 Kelvin. Uit theoretische berekeningen volgde dat bij clear sky condities van de atmosfeer T_{abs} ongeveer 245 K bedraagt.
We dienen te beschikken over een apparaat dat in staat is om ruisvermogens te ontvangen en te detecteren. Om een indruk te krijgen van de grootte-orde van het kleinste ruisvermogen dat gedetecteerd zou moeten worden beschouwen we nogmaals figuur 2.2.
We zijn geïnteresseerd in de brightness temperatuur bij een elevatiehoek van 25° (de hoek waaronder vanuit Eindhoven de ATS-6 satelliet gezien wordt). Bij een elevatie van 25° bedraagt T_B (clear sky, dus minimaal) 30 K en het ruisvermogen per 1 Hz bandbreedte bedraagt dan, volgens vergelijking (1.1):

$$P_{N,at} = 4{,}2 * 10^{-19}\,\mathrm{mWatt}/_{Hz} = -183{,}8\ \mathrm{dBm}/_{Hz}.$$

2.3. De antenne ruistemperatuur

De ruis in de vorm van elektromagnetische straling wordt met behulp van een antenne die opgesteld wordt onder een elevatiehoek van 25° ontvangen. De antenne ontvangt echter niet alleen ruis uit de hoofdrichting, maar zal ook uit andere richtingen ruis ontvangen (zoals ruis van de aarde, door het aardoppervlak gereflekteerde ruis uit diverse richtingen). Het totaal door de antenne ontvangen ruisvermogen, $P_{N,ant}$, wordt uitgedrukt in de antenneruistemperatuur, T_{ant}.

$$P_{N,ant} = K\,T_{ant}B \qquad (2.3)$$

met

$$T_{ant} = \frac{1}{4\pi}\int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \sin\theta d\theta \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} T_B(\theta,\phi)g(\theta,\phi)d\phi \qquad (2.4)$$

waarbij de coördinaten θ en ϕ de sferische coördinaten zijn waarin de antenne winstfunktie $g(\theta,\phi)$ van de gebruikte antenne is uitgedrukt (θ = 0 is de hoofdrichting). Uit vergelijking (2.4) blijkt dat elke brightness temperatuur $T_B(\theta,\phi)$ een gewogen bijdrage levert tot het totaal ontvangen ruisvermogen $P_{N,ant}$. De weegfunktie is de antennewinst funktie $g(\theta,\phi)$. Het is dus wenselijk om te beschikken over een antenne met een laag zijlus niveau en een smalle hoofdbundel.
Zouden we beschikken over een ideale antenne, de z.g. "pencil beam" antenne d.w.z.:

$$g(\theta,\phi) = \delta(\theta)$$

met

$$\delta(\theta) = 0 \text{ voor } \theta = 0 \qquad (2.5)$$

$$\int_{\theta=0}^{\theta=\pi} \phi(\theta)d\theta = 1$$

dan zijn we in staat om direkt T_B te meten, immers de antenne temperatuur is dan gelijk aan

$$T_{ant} = \frac{1}{4\pi} * 4\pi * T_B = T_B.$$

De gebruikte antenne was een parabolische reflector antenne met een diameter van 21 cm en de F/D verhouding bedroeg 0,375. Na meting van het stralingsdiagram en berekening van de cumulatieve vermogensverdeling bleek deze niet aan de eigenschappen van de ideale antenne te beantwoorden, maar hij werd toch gebruikt omdat het op dat moment de enige beschikbare antenne was. Figuur 2.4 is een afbeelding van de cumulatieve vermogens verdeling waarbij het volgende opgemerkt dient te worden. We stellen ons voor dat de antenne geplaatst is in een carthesisch coordinaten stelsel x-y-z zodanig dat de hoofdrichting van de antenne samenvalt met de z-as. We laten nu een rechte door de oorsprong, die een hoek θ met de z-as maakt, om de z-as roteren. Zo ontstaat een kegel met een tophoek van 2θ. Figuur 2.2.4 geeft nu weer welk gedeelte van het totaal door de antenne ontvangen vermogen de antenne binnen deze kegel bereikt. Via de hoofdbundel (ca 4°) wordt ca 86% van het totale vermogen ontvangen. De verwachting is dan ook dat de antenne temperatuur, niet verwaarloosbaar, zal afwijken van de brightness temperatuur in de hoofdrichting van de antenne. Er zijn theoretische berekeningen uitgevoerd van de antenne temperatuur tijdens clear sky condities, wanneer de antenne geplaatst is op het aardoppervlak, als funktie van de antenne elevatie. Figuur 2.2.5 laat het resultaat zien, waarbij uitgegaan is van dezelfde atmosferische condities als die bij de theoretische berekeningen van de brightness temperatuur (zie figuur 2.2).
De bedoeling is te onderzoeken of er overeenkomst bestaat tussen de bekende en de gemeten antenne temperatuur. Hiervan zijn geen resultaten in het rapport opgenomen omdat er moeilijkheden gerezen zijn met de rekenapparatuur waar-

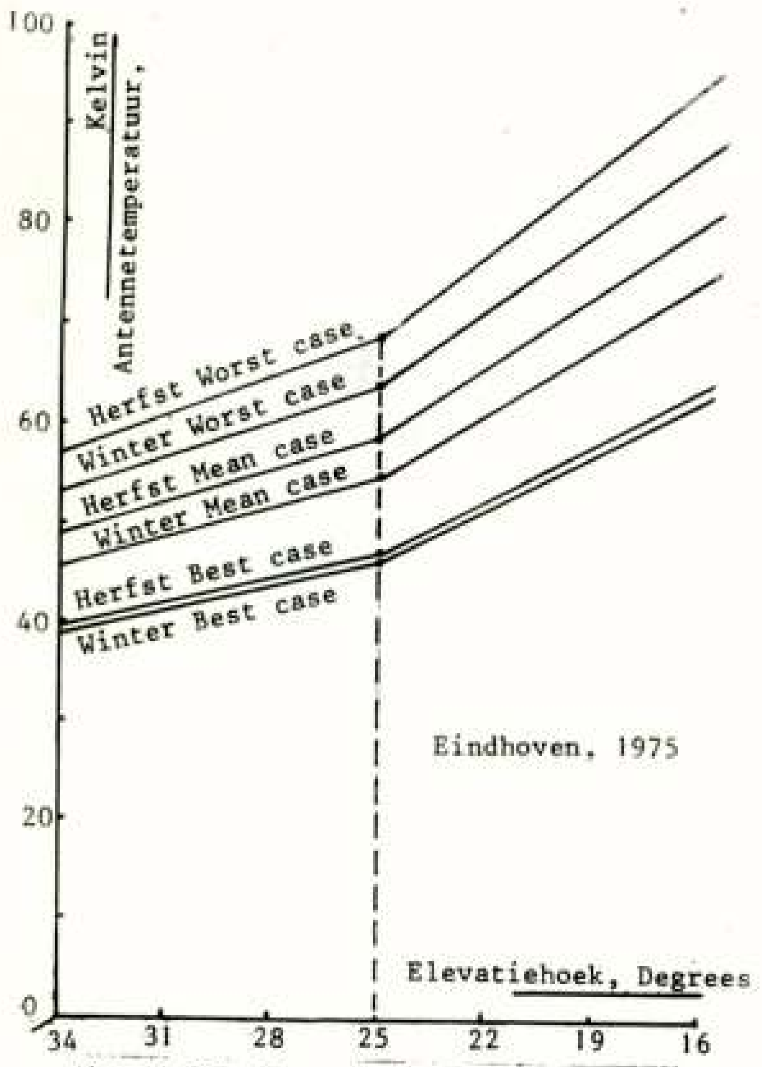


Fig. 2.2.5. T_{ant} in herfst en winter.

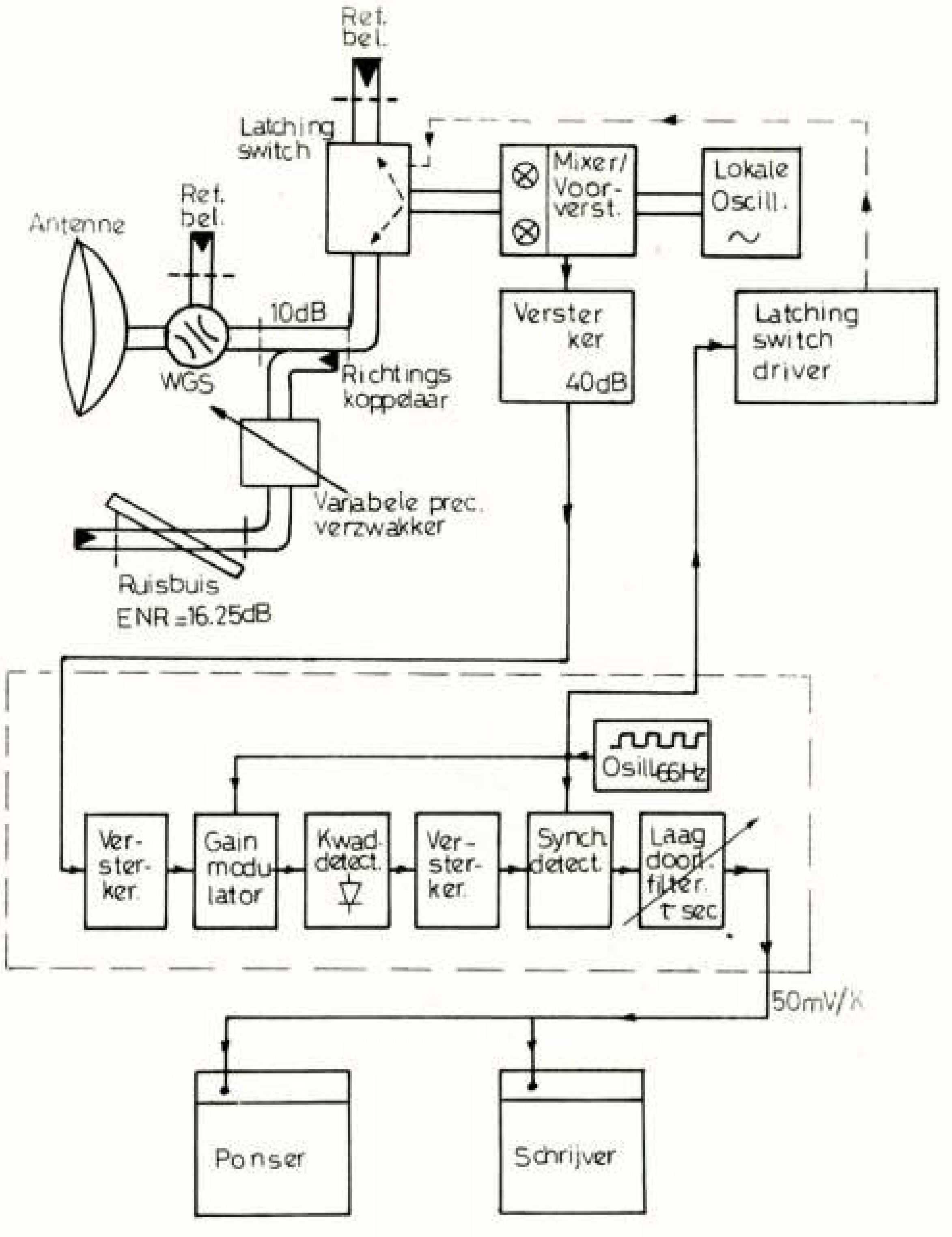


Fig. 3.3. Schematisch overzicht van het gerealiseerde radiometer systeem voor 30 GHz.

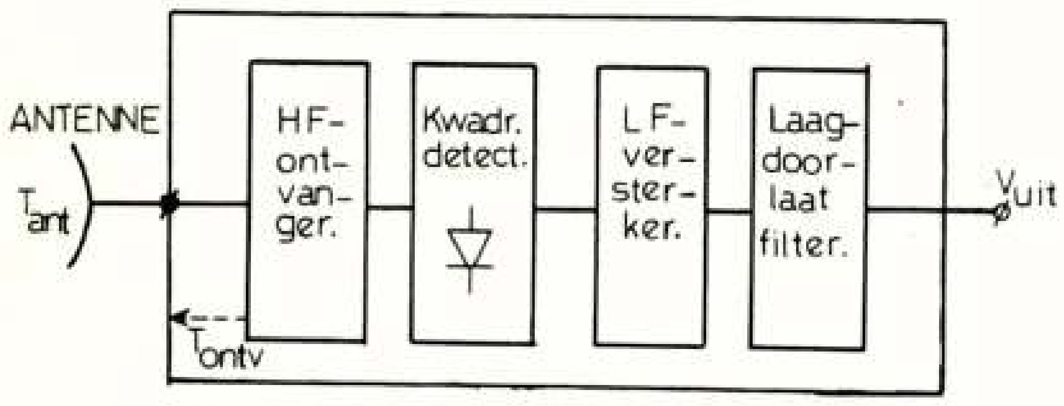


Fig. 3.1. Blokschema Total Power radiometer.

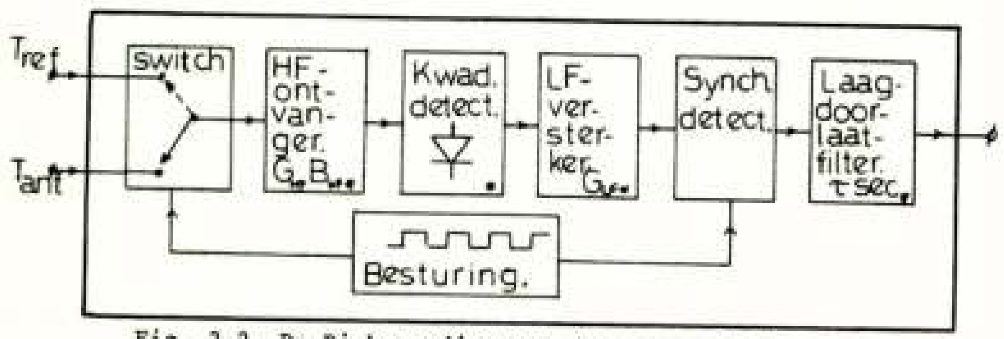


Fig. 3.2. De Dicke radiometer (vereenvoudigd blokschema).

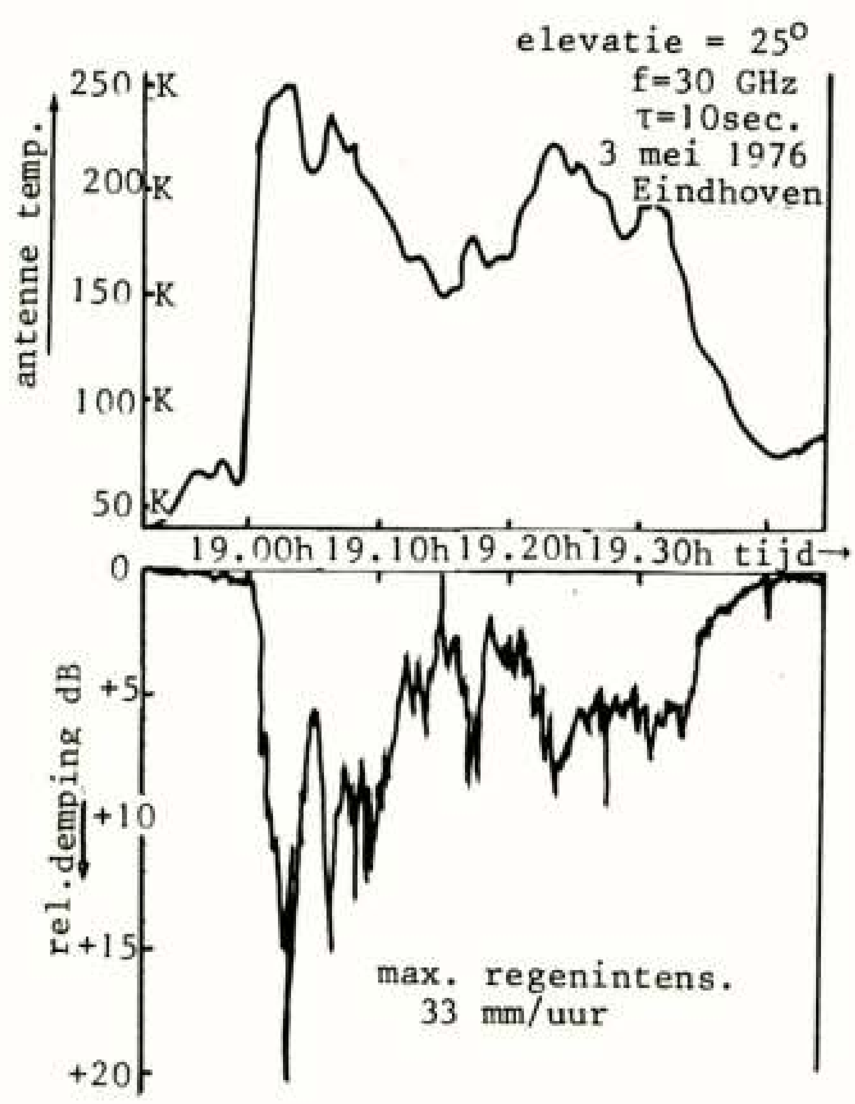


Fig. 4.1. Simultane registratie van het radiometer- en het ontvangen satellietsignaal (3-5-1976).

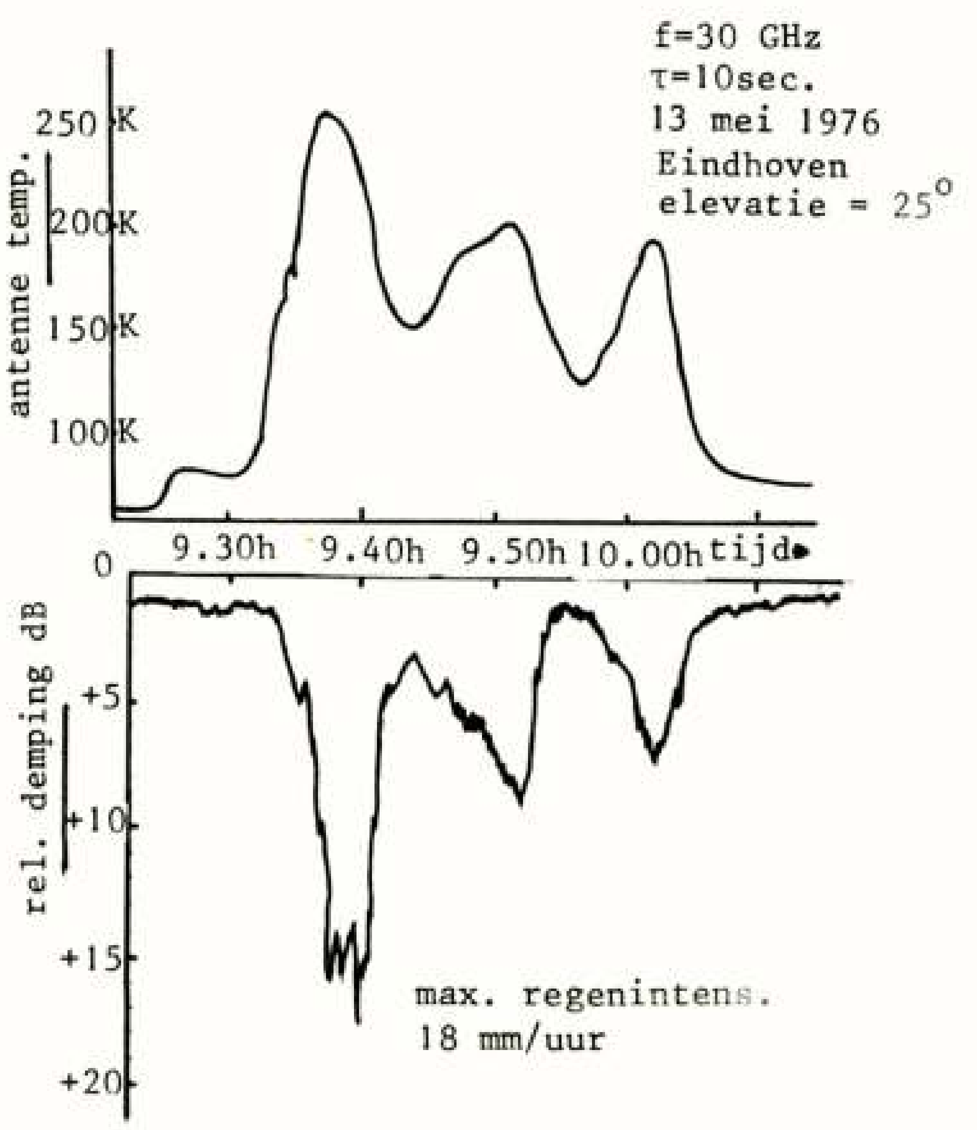


Fig. 4.2. Simultane registratie van het radiometer- en satellietsignaal (13-5-1976).

mee de berekeningen uitgevoerd moeten worden.

3. DE RADIOMETER

Omdat er, zoals uit het voorgaande mag blijken, kleine ruisvermogens gedetecteerd moeten worden, dienen we te beschikken over een ontvanger met een grote bandbreedte en een grote gain. Een dergelijke ontvanger is de radiometer.

3.1. De Total Power Radiometer

Fig. 3.1 laat een vereenvoudigd blokschema zien van de z.g. Total Power Radiometer (Lit. (4)).
De uitgangsspanning van de radiometer is proportioneel met de systeem-ruis-temperatuur, $T_{sys} = T_{ant} + T_{ontv}$, waarbij T_{ontv} de op de ingang van de radiometer gereduceerde ruistemperatuur is.

$$V_{uit} = C\ T_{sys} = C(T_{ant} + T_{ontv}) \qquad (3.1)$$

Een verandering van de uitgangsspanning kan veroorzaakt worden doordat de versterking van de schakeling verandert (verandering in C) of doordat de ontvanger-ruis-temperatuur verandert, of doordat de antenne-temperatuur verandert. De Total Power Radiometer is dus niet een ideaal instrument om lage antenne temperaturen te meten omdat T_{ant} meestal vele malen kleiner is dan T_{ontv}.

3.2. De Dicke Radiometer

R.H. Dicke heeft in 1946 de naar hem genoemde Dicke radiometer (Lit. (4)) ontworpen, waardoor de variaties in de versterkings faktor en de ontvanger ruistemperatuur worden geëlimineerd. Figuur 3.2 geeft een blokschema van deze radiometer weer.
De met een * gemerkte blokken komen overeen met de blokken uit de Total Power Radiometer. De ingang van de HF ontvanger wordt periodiek met de antenne- en een referentie ruistemperatuur verbonden. Ten gevolge van synchrone detektie ontstaat er een uitgang signaal dat een maat is voor het verschil tussen T_{ant} en T_{ref}, zodat de antenne temperatuur bepaald is.

$$V_{uit} = C'\ \{T_{ant} - T_{ref}\} \qquad (3.2.1)$$

De uitgangsspanning bestaat niet alleen uit een gelijkspanningscomponent maar ook nog uit een ruisachtige component met een zekere effektieve waarde, V_{eff}, die bepaald wordt door de tijdconstante, τ, van het laagdoorlaat filter. Naarmate τ kleiner wordt zal de effektieve waarde van de wisselspannings component groter worden:

$$V_{eff} :: \frac{1}{\sqrt{\tau}} \qquad (3.2.2)$$

De wens is dat V_{eff} zo klein mogelijk is, zodat de uitgangsspanning van de radiometer zo nauwkeurig mogelijk bepaald is. (We zeggen dan dat de gevoeligheid minimaal is). Dit wordt bereikt door τ zo groot mogelijk te kiezen. Een grote tijdconstante heeft echter tot gevolg dat het radiometer signaal de snelle fluktuaties van de antennetemperatuur niet snel genoeg zal kunnen volgen.
Het gerealiseerde systeem is schematisch in figuur 3.3 weergegeven. De mogelijkheid is geschapen om de radiometer te ijken door de ingang te koppelen aan een referentiebron (een matched load) die op een konstante fysische temperatuur T_{ref} wordt gehouden. Daarmee ligt het punt T_{ref} van de radiometerschaal vast. Vervolgens moet op een dag dat de antennetemperatuur laag is (tijdens een clear sky periode bedraagt de antennetemperatuur ca 50 K) door middel van het bijmengen van een bekende hoeveelheid ruis de op dat moment voorkomende antenne temperatuur worden bepaald. De tussen deze twee extreme waarden gelegen waarden van de aangeboden ruistemperatuur kan nu op een eenvoudige wijze bepaald worden door steeds een bekende ruistemperatuur bij te mengen.
Nadat de opstelling gerealiseerd was kon met het registreren van de antennetemperatuur worden begonnen. In de onderstaande tabel zijn enige gegevens van de opstelling vermeld.

Lokale oscillator frekwentie	30,5 GHz
Prediktie bandbreedte B_{HF}	100 MHz
Tijdconstante, τ	10 sec òf 3 sec
Gevoeligheid	0,16K resp. 0,1K
Antenne elevatie	25°
Antenne diameter	21 cm
Antenne winst in hoofdrichting	33,27 dB

Tabel 3.1 Gegevens van de radiometer opstelling

4. RESULTATEN

Omdat het verband tussen T_B en T_{ant} nog niet eenduidig vast ligt was het tot op heden niet mogelijk om T_B als funktie van de tijd te bepalen. Wel is er getracht een verband te zoeken tussen de op een bepaald moment optredende antenne(ruis)temperatuur en de simultaan optredende demping. Daartoe moest er gewacht worden op een gelegenheid waarbij de antenne temperatuur en het ATS-6 signaal (30 GHz) simultaan gemeten konden worden tijdens een hevige regen- of onweersbui, omdat dan de demping en de antennetemperatuur extreme waarden aannemen. De demping kan variëren tussen 0 en 20 dB en de antenne temperatuur kan oplopen tot ca 280 Kelvin.
Er deden zich twee van zulke events voor, en wel op 3 mei 1976 en op 13 mei 1976. Figuur 4.1 is een afbeelding van het radiometer signaal en het 30 GHz signaal van de ATS-6 zoals het door het grondstation van de THE op 3 mei 1976 werd ontvangen.
Op 13 mei werd een soortgelijke registratie gedaan, die afgebeeld is in figuur 4.2.
De onweersbui van 3 mei had een veel grilliger karakter

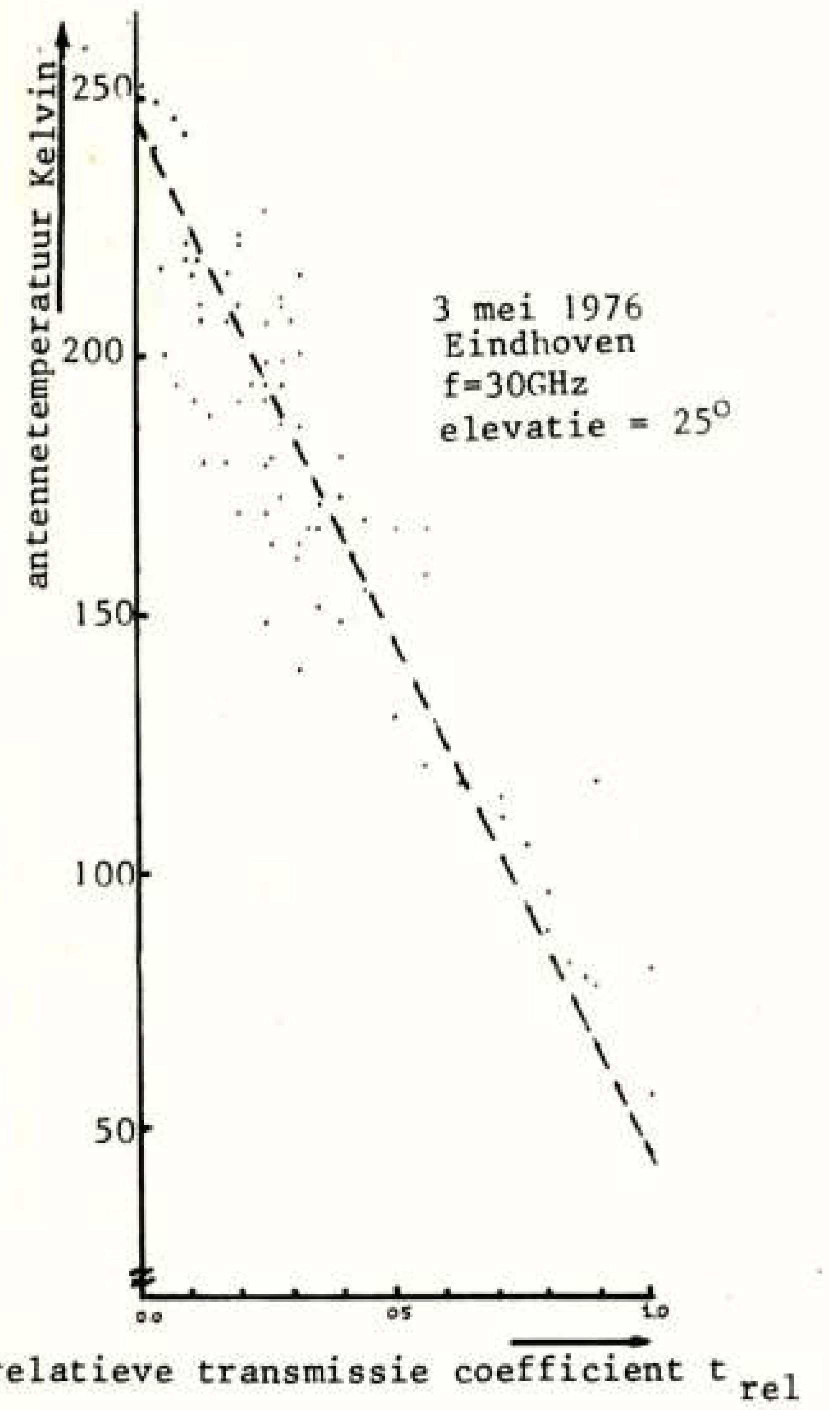


Fig. 4.3. Scatter diagram van 3 mei 1976.

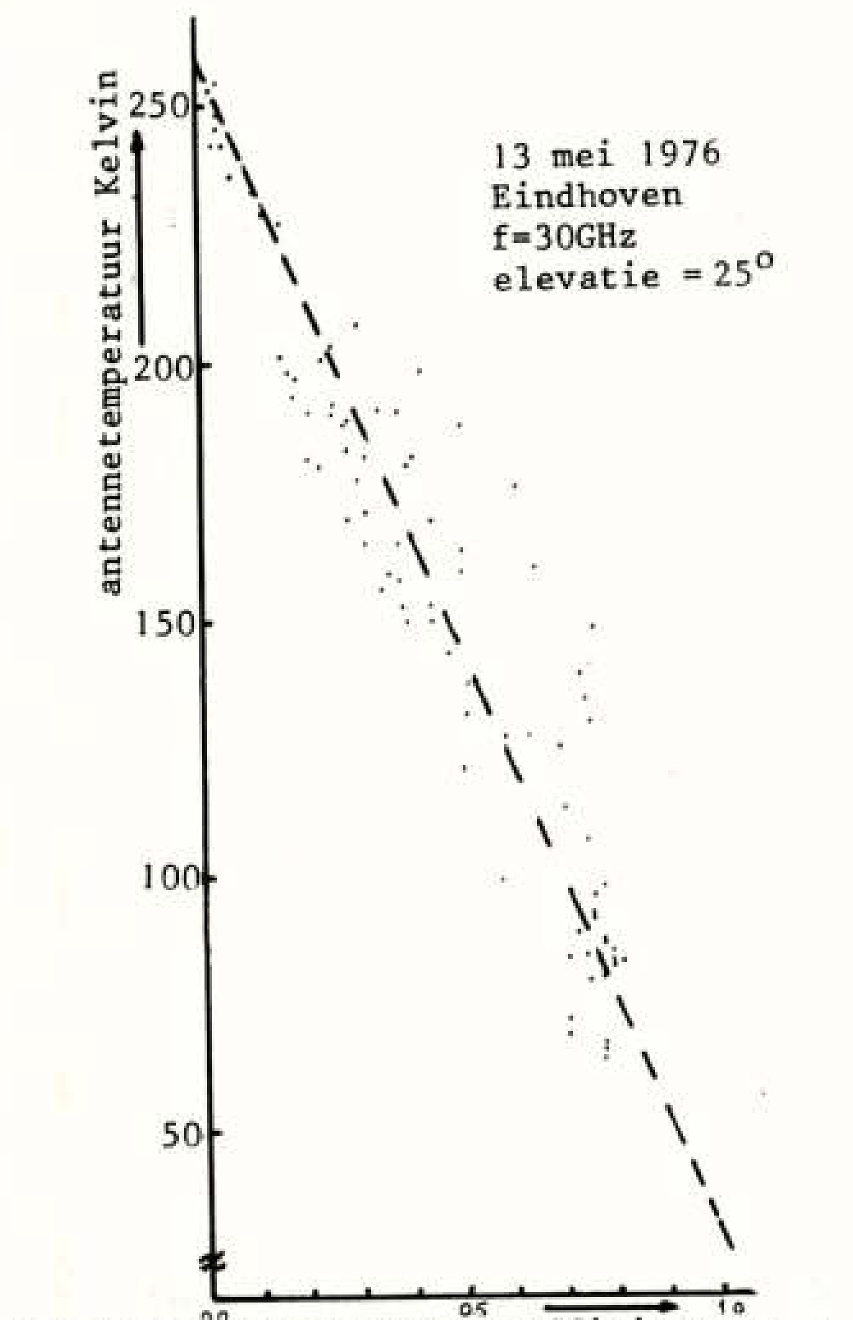


Fig. 4.4. Scatter diagram van 13 mei 1976.

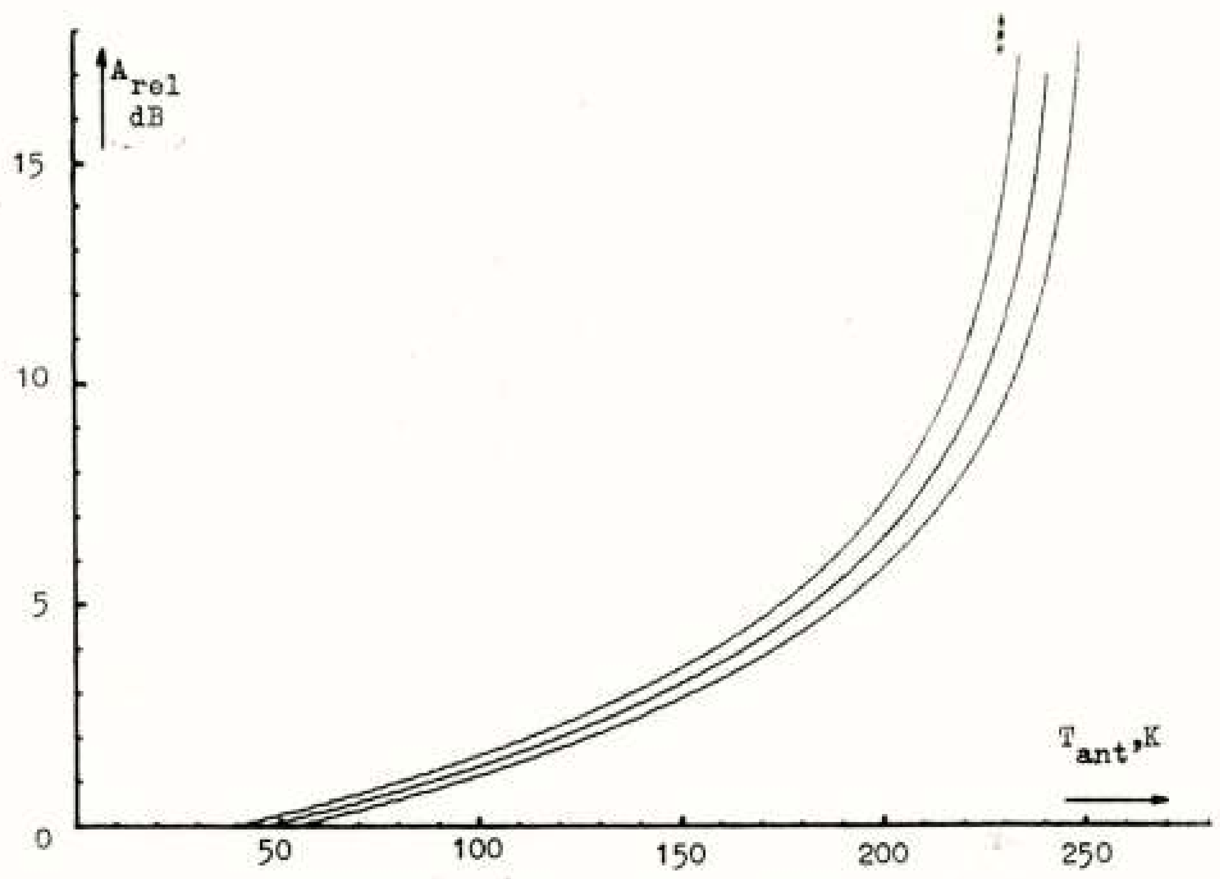


Fig. 4.5. $T_{ant} - A_{rel}$ (3 mei 1976)

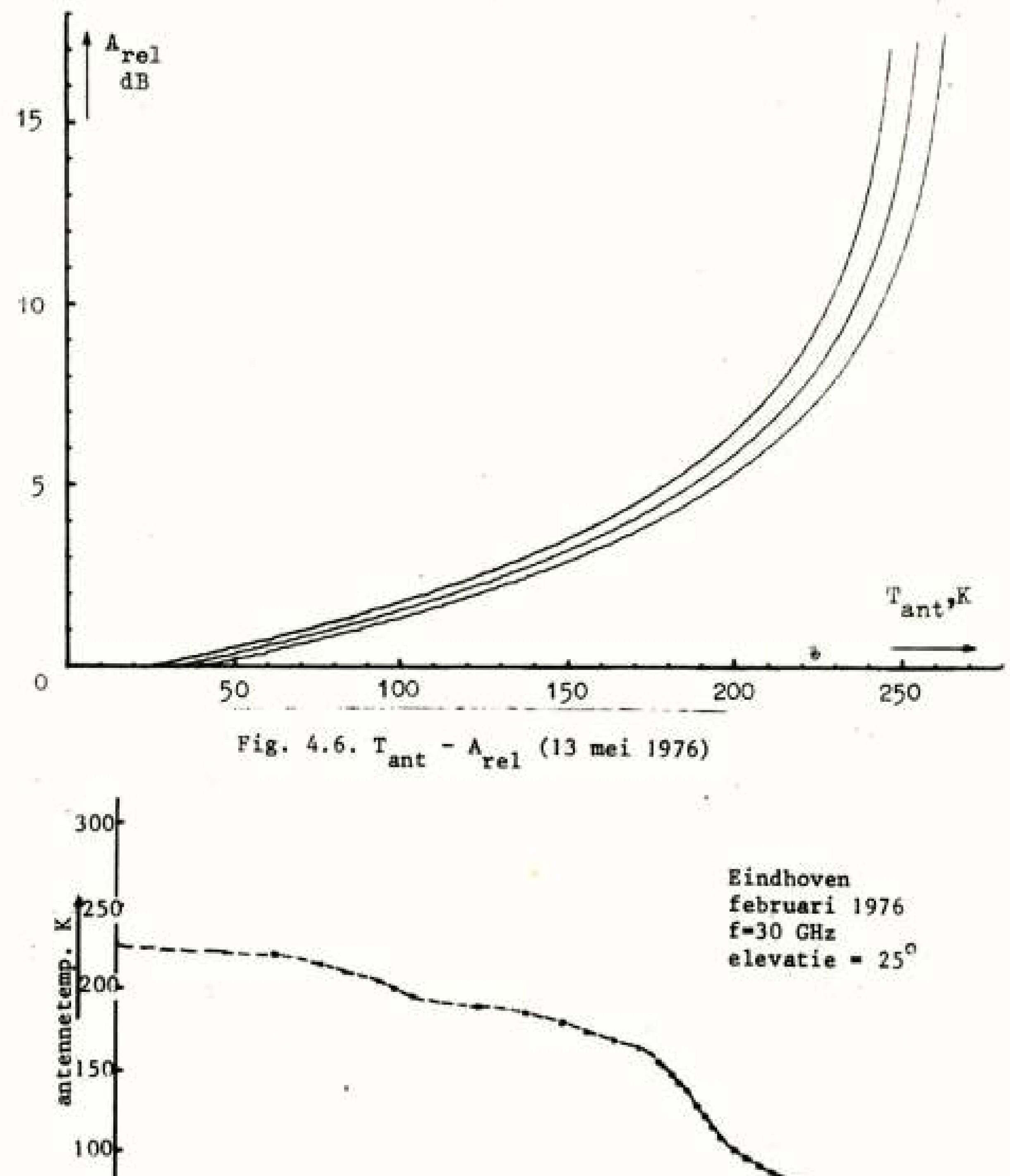


Fig. 4.6. $T_{ant} - A_{rel}$ (13 mei 1976)

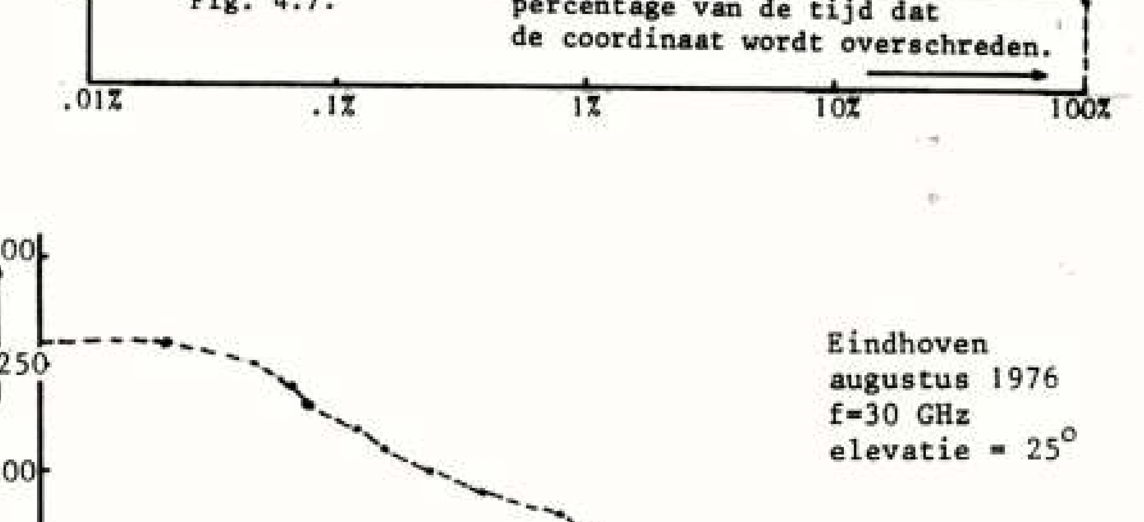


Fig. 4.7.

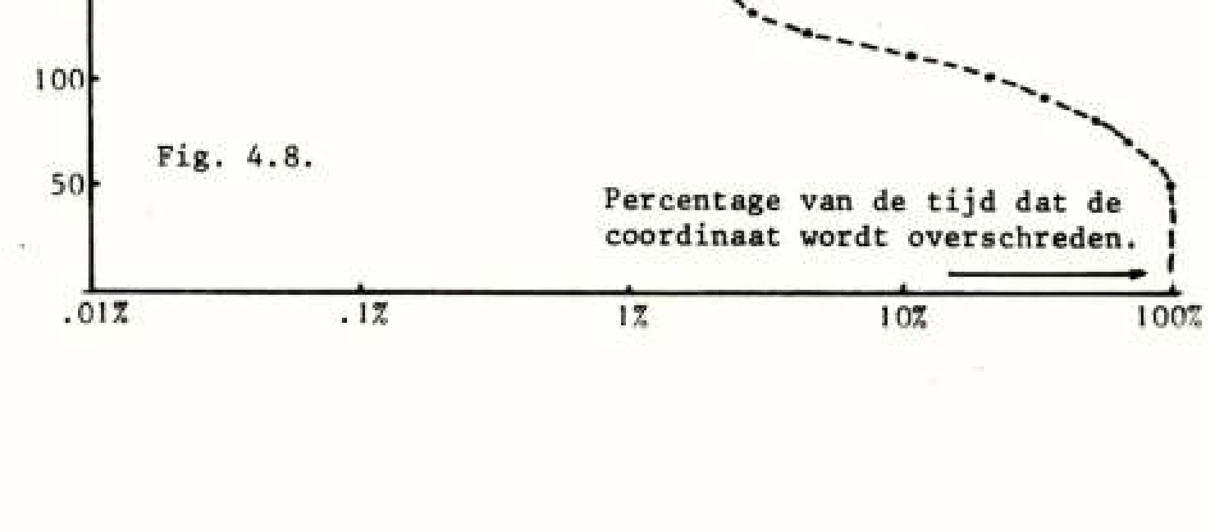


Fig. 4.8.

dan op 13 mei hetgeen ook mag blijken uit de configuratie van het 30 GHz signaal. De windsnelheid en windrichting veranderde op 3 mei sneller, de regenintensiteit nam extremere waarden aan.
Bij deze twee events was de tijdconstante, omwille van de gevoeligheid, ingesteld op 10 seconden, zodat de snelle fluktuaties in de antenne temperatuur waarschijnlijk niet voldoende snel gevolgd konden worden. Uit de gegevens verkregen uit de bovengenoemde registraties zijn scatter diagrammen geconstrueerd, waarin de antenne temperatuur en de simultaan geregistreerde relatieve demping werden uitgezet. Deze zijn afgebeeld in resp. de figuren 4.3 en 4.4.
Bovendien is in elk figuur een onderbroken rechte getekend welke uit de gegevens met behulp van een enkelvoudige lineaire regressie methode werd bepaald. Het resultaat luidt voor 3 mei, resp. 13 mei:

$$t_{rel} = 1{,}231 - \frac{T_{ant}}{199{,}2} \qquad (4.1)$$

resp.

$$t_{rel} = 1{,}133 - \frac{T_{ant}}{228{,}9} \qquad (4.2)$$

De correlatie coëfficient bedroeg resp. -0,9152 en -0,9332 en de spreiding in de t_{rel} had een grootte van resp. 0,037 en 0,034. We spreken hier van relatieve demping omdat de demping gemeten is ten opzichte van een niveau van het signaal tijdens de clear sky periode op die dag.
Met behulp van verg. (4.1) is een ijk-kromme te construeren die het verband tussen de gemeten T_{ant} en de simultaan optredende relatieve atmosferische demping A_{rel}. Deze is afgebeeld in fig. 4.5.
Ten gevolge van de spreiding in t_{rel} ontstaan bovendien onder en boven de ijkkromme een kromme die het spreidings gebied van A_{rel} aangeeft. Figuur 4.6 geeft een beeld van de relatie $T_{ant} - A_{rel}$ die ontstaat uit verg. 4.2.
De hoeveelheid gegevens was te klein om een ijking te doen die een voldoende grote nauwkeurigheid garandeert.
In de periode 1 februari 1976 - 30 september 1976 is de antenne temperatuur, voor zover mogelijk, continu geregistreerd. Met behulp van deze registraties is voor elke maand een cumulatieve vermogens verdeling gemaakt. Fig. 4.7 en 4.8 geven een beeld van een dergelijke maandverdeling. De verdeling over de hele periode van registratie (ca 3250 uur) is weergegeven in figuur 4.9. Er dient opgemerkt te worden dat het 30 GHz signaal van de ATS-6 slechts op bepaalde tijden van de dag (in periodes van ca 4 uur aan één stuk) ontvangen kon worden, terwijl het radiometer signaal, voor zover mogelijk, dag in dag uit werd geregistreerd. Een cumulatieve vermogensverdeling van de atmosferische demping zoals die te bepalen is met behulp van figuur 4.5 en figuur 4.9 mag niet zonder meer vergeleken worden met een verdeling van het hoofdpolarisatie signaal zoals dat al in de eerder genoemde periode door het grondstation van de THE werd ontvangen.

Tot slot kan gezegd worden dat de resultaten die behaald zijn met de gerealiseerde opstelling bevredigend zijn. Zij rechtvaardigen de verwachting dat bij een eventueel nieuw experiment met een verbeterde versie van de radiometer, meer en betere resultaten behaald kunnen worden.

DANKBETUIGING

Schrijver van dit artikel heeft de beschreven studie uitgevoerd als afstudeerprojekt binnen de vakgroep Communicatiesystemen van de Afdeling Elektrotechniek aan de THE, en dankt prof. ir. B. van Dijl, ir. J. Dijk en dr.ir. E.J. Maanders voor de mogelijkheid die zij hem hebben geboden deze studie te verrichten.

Lit (1) On the absorption coefficient of electromagnetic waves by water vapro in 10μ - 2cm band
- S.A. Zhevakin en A.P. Naumov, Radio Fizika nr 4, blz. 674-694, 1963.

Lit (2) Antenne ruis temperatuur by "clear sky" condities
- P.J. Roelandschap, Afstudeerverslag THE, vakgroep ECC, 1976.

Lit (3) The role of rain in satellite communications,
- D.C. Hogg en Ta Shing Chu, Proc. IEEE vol. 63, nr. 9, blz. 1309-1331, september 1975.

Lit (4) Radio astronomy,
- J.D. Kraus, 1966.

Lit (5) Atmosferische ruis bij 30 GHz
- F. Zelders, Afstudeerverslag THE, vakgroep ECC, 1977.

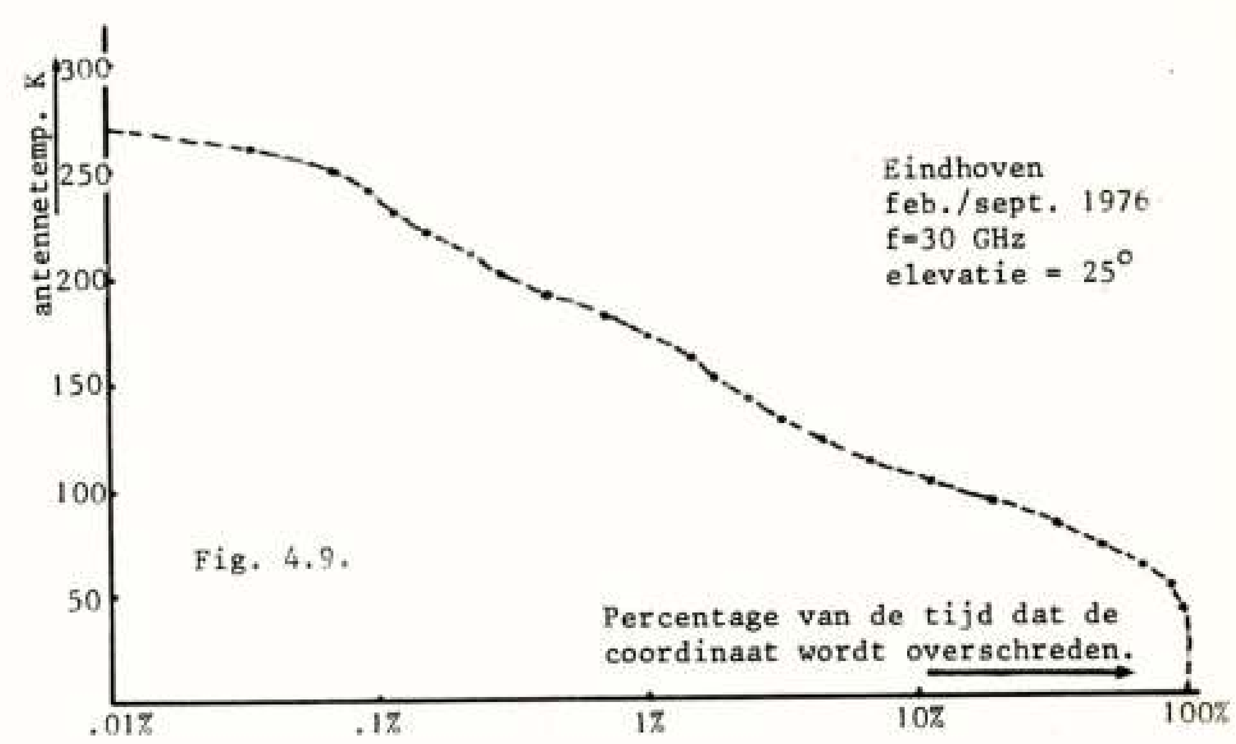


Fig. 4.9.

Voordracht gehouden op 1 december 1976 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 260) de Sectie Telecommunicatie-Techniek van het KIvI en de Benelux section IEEE.

FARADAY ROTATIE EN AMPLITUDE SCINTILLATIE OP HET BAKENSIGNAAL VAN DE ATS-6 (360 MHz)

Ir. J.P. van der Fluit
Technische Hogeschool Eindhoven
Afdeling Elektrotechniek, Vakgroep Communicatiesystemen

SUMMARY
Recordings have been made of the Faraday rotation, signal amplitude and scintillation of the radio beacon of the ATS-6 at a frequency of 360 MHz from June to September 1976.
The Faraday rotation is a measure for the total free electron content in the ionosphere. A description is given of the receiver used for the reception of the satellite signal.
The recordings of the Faraday rotation and signal amplitude on July 29, 1976 are shown. The recordings of the Faraday rotation have been compared with measurements of the critical frequency of the F_2-layer (f_oF_2) obtained from the Dutch Meteorological Office. There exists a high degree of correlation between these two measurements.
Scintillation has been observed on the recordings of the signal amplitude, occurring several times a day lasting from about ten minutes to several hours. The magnitude of the scintillation is mostly 1 or 2 dB with maxima of 6 dB. Some examples of heavy scintillation are shown.

INLEIDING

Op 30 mei 1974 werd de ATS-6 gelanceerd. Deze satelliet, ATS staat voor Application Technology Satellite, heeft een groot aantal, zeer uiteenlopende experimenten aan boord (in totaal 27). Eén ervan is het radio baken experiment.

Dit experiment omvat het continue uitzenden van draaggolven (bakens) op ongeveer 40, 140 en 360 MHz, welke amplitude gemoduleerd zijn met 1 MHz en/of 100 kHz.

De belangrijkste doelstellingen van het radio baken experiment zijn de metingen van de elektronen-inhoud van de ionosfeer en de exosfeer en de bestudering van de propagatie eigenschappen van de ionosfeer. Het baken is ontworpen voor verschillende soorten metingen: Faraday rotatie, differentiële fase (Doppler), fase- en amplitude scintillatie en signaal amplitude (absorptie).

Uit de Faraday rotatie- en de differentiële fase-metingen kan de elektronen inhoud van de ionosfeer, resp. van de exosfeer worden bepaald.

De ATS-6 behoort tot de klasse van wetenschappelijke satellieten. Opvallend is de bruikbaarheid, veelzijdigheid, grootte en het uiterlijk van deze satelliet. Naast de zuiver wetenschappelijke experimenten, zoals het radio baken experiment, zijn er een aantal experimenten opgenomen, die de mogelijkheden voor de toepassing van satelliet communicatie demonstreren aan toekomstige gebruikers. Belangrijke vooruitgang is er geboekt op het gebied van antenne technologie, nauwkeurige controle van de positie van de satelliet, het gebruik van nieuwe materialen, de constructie van satellieten en de warmte huishouding binnen de satelliet.

De ATS-6 bevindt zich in een geostationaire baan boven de evenaar op een hoogte van 35.680 km. Het eerste jaar van zijn bestaan was de ATS-6 gepositioneerd op 94 graden W.L. boven de Stille Oceaan. Na dit eerste jaar is de satelliet verplaatst naar 35 graden O.L. boven het Victoria meer, midden Afrika. Voor de periode van 15 juli 1976 (het tweede jaar van zijn bestaan) was de ATS-6 beschikbaar voor experimenteerders onder andere in West Europa. Na dit tweede jaar keerde de satelliet terug naar zijn oorspronkelijke positie op 94 graden W.L.

FARADAY ROTATIE

Het ionosferisch Faraday effekt is het verschijnsel, dat het polarisatie vlak van een lineair gepolariseerde electromagnetische golf draait onder invloed van de in de ionosfeer aanwezige vrije electronen en het aardmagneetveld. Het draaien van de hoek, waarover het polarisatievlak draait, wordt aangeduid met Faraday rotatie.

De rotatiehoek Ω is gelijk aan:

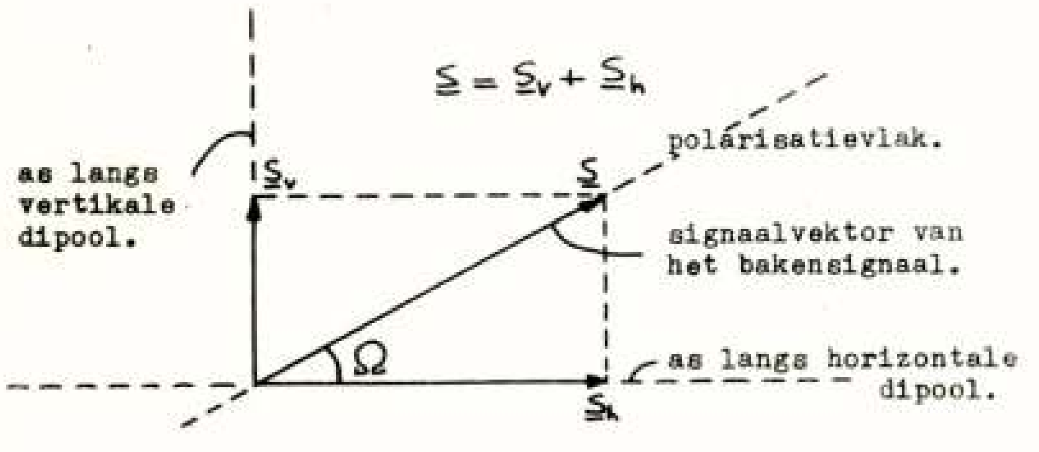
$$\Omega = \frac{K}{f^2}\int H_o(\zeta)\ \cos\theta(\zeta)N(\zeta)d\zeta \qquad (1)$$

waarin $K = 2{,}9716.10^{-2}$,
f = frekwentie van de golf,
H_o = de sterkte van het aardmagneetveld,
θ = de hoek tussen de richting van het aardmagneetveld en de voortplantingsrichting van de golf,
N = de dichtheid van de vrije elektronen.

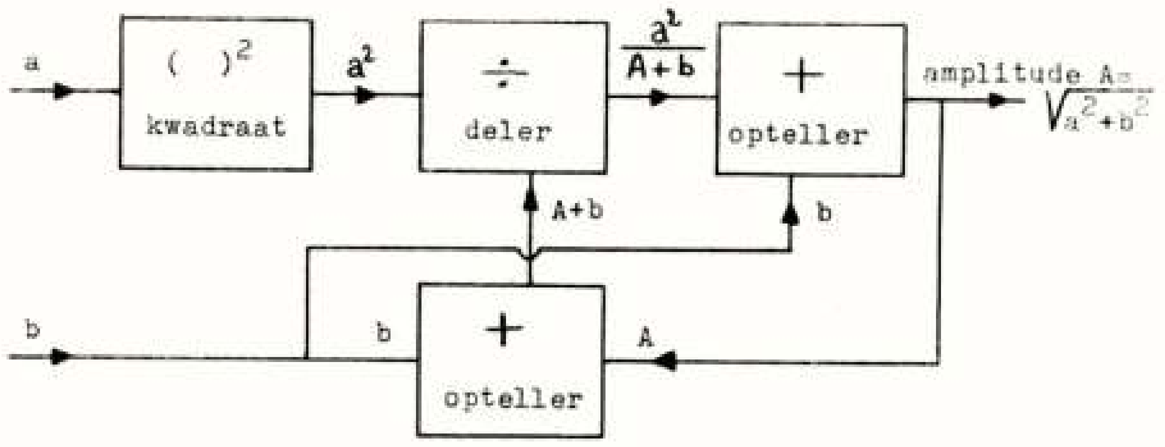
Er moet geïntegreerd worden over het propagatiepad van de golf door de ionosfeer. Deze formule voor Ω kan worden benaderd door:

$$\Omega = \frac{K\bar{M}}{f^2}\int_0^{2000} N_v(\zeta)d\zeta \qquad (2)$$

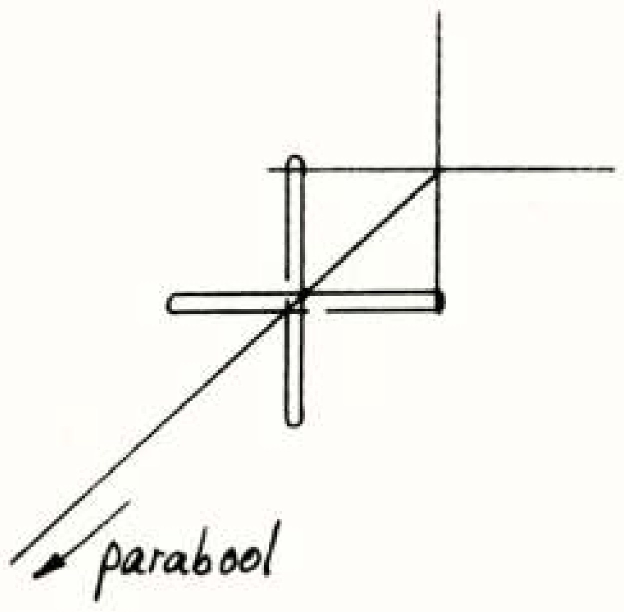
waarin $\bar{M} = \overline{H_o \cos\theta \sec\chi}$ een gemiddelde magnetische faktor voorstelt en $\int_0^{2000} N_v(\zeta)d\zeta$ de totale hoeveelheid vrije elektronen in een vertikale eenheids kolom tot 2000 km hoogte. De hoek tussen de voortplantingsrichting van de golf en de vertikaal is de zenith'shoek χ.



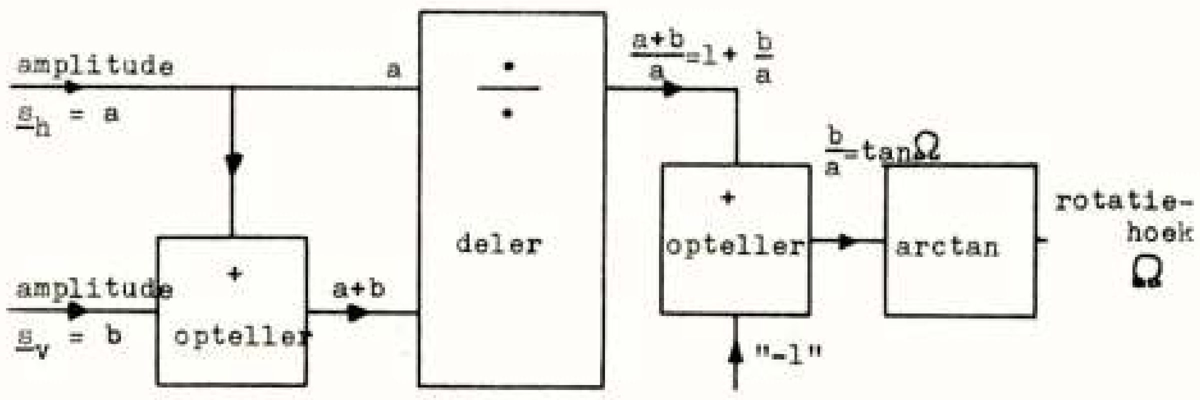
Figuur 1a. Een mogelijke ontvangsituatie.



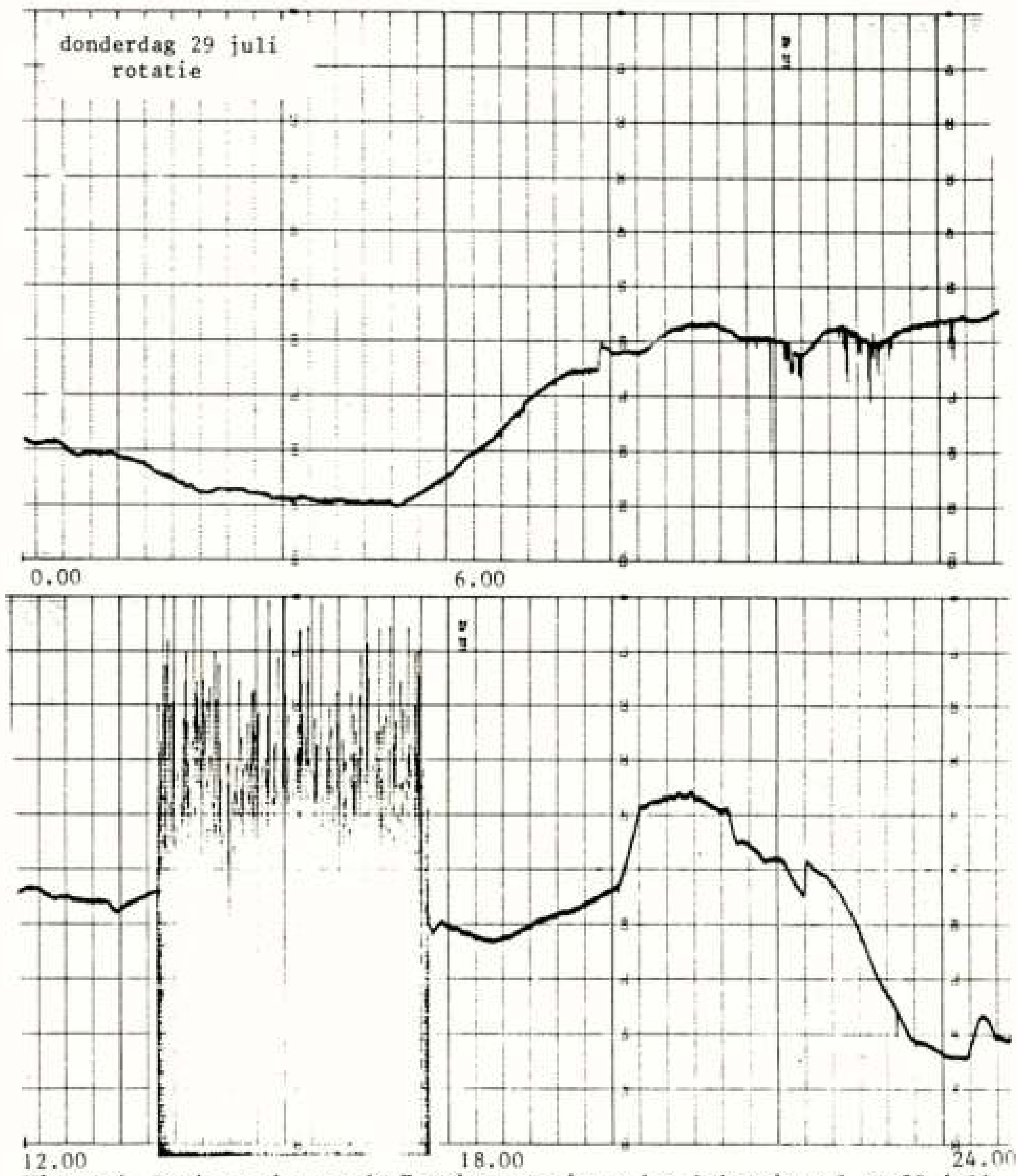
Figuur 3a Bepaling amplitude A van het signaal.



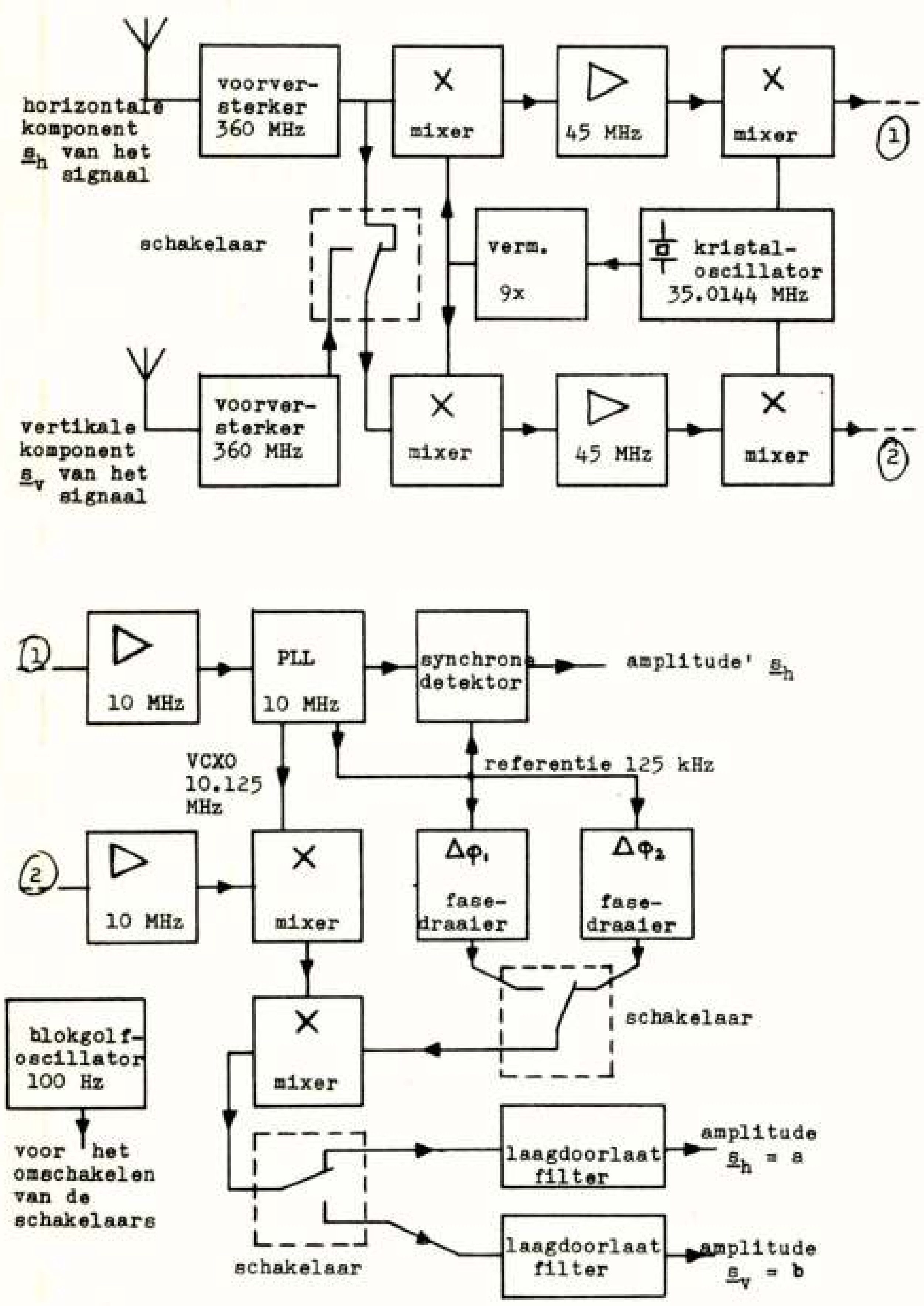
Figuur 1b. Totale belichter.



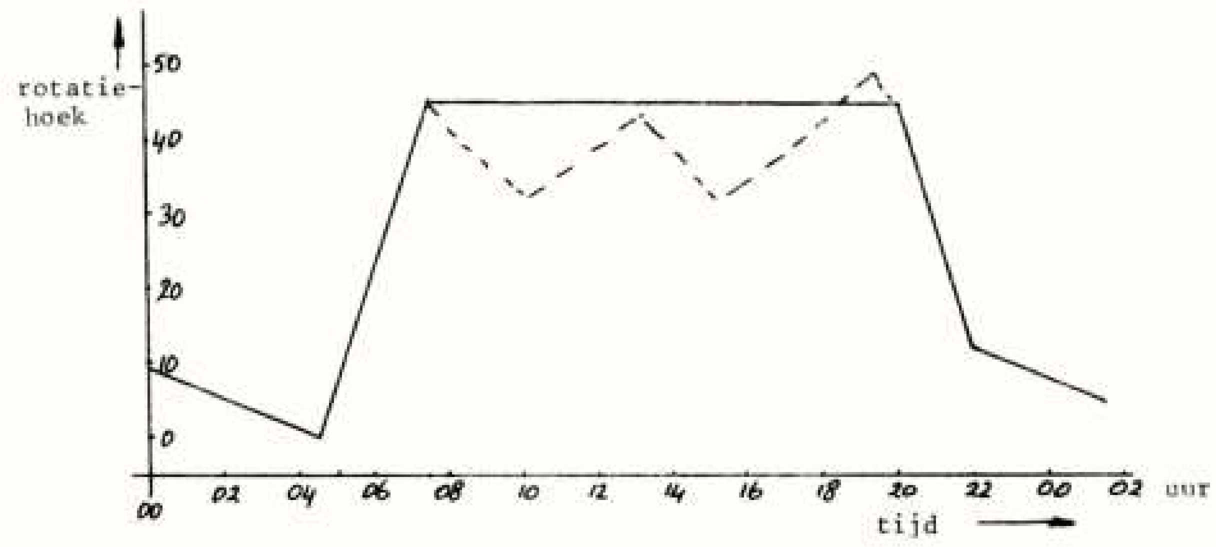
Figuur 3b Bepaling van de rotatiehoek Ω uit de amplitudes van de signaal-componenten als maat voor de Faraday rotatie.



Figuur 4. Registratie van de Faraday rotatie en het bakensignaal op 29 juli 1976.



Figuur 2. Opbouw van de ontvanger.



Figuur 5. Profiel van het dagelijks verloop van de rotatiehoek.

In deze benadering is de hoek Ω evenredig met de totale hoeveelheid vrije elektronen in de ionosfeer. Deze benadering is toegestaan, omdat het aardmagneetveld slechts weinig met toenemende hoogte in sterkte afneemt daar, waar de elektronen dichtheid N_v sterk varieert als funktie van de hoogte (in de D, E en F-lagen in de ionosfeer).
Uit de registratie van de rotatiehoek Ω van een lineair gepolariseerd satellietsignaal kan de totale hoeveelheid vrije elektronen in de ionosfeer en het dagelijks verloop ervan rechtstreeks worden afgelezen.
Volgens Titheridge (1972, Literatuur 1) blijft de fout in de bepaling van de totale hoeveelheid vrije elektronen in de ionosfeer (tot 2000 km hoog), die gemaakt wordt bij de benadering voor Ω in (2), binnen 5%, indien voor $\bar{M}$ de waarde van M (= $H_o \cos\theta \sec\chi$) genomen wordt op een hoogte van 420 km.

ONTVANGST VAN HET BAKENSIGNAAL (360 MHz)

Vanwege de geostationaire baan staat de satelliet schijnbaar stil in een vast punt aan het firmament. De elevatiehoek bedroeg 25 graden. De stand van de ATS-6 is gestabiliseerd, zodat er van kan worden uitgegaan, dat het lineair gepolariseerde bakensignaal in een vast constant vlak ten opzichte van de ontvang antenne de satelliet verlaat.
In de ionosfeer draait dit vlak en de golf bereikt de ontvangantenne in een vlak, dat afhangt van de grootte van de rotatiehoek Ω.
Teneinde de orientatie van het polarisatievlak van het bakensignaal te kunnen bepalen is er gebruik gemaakt van twee loodrecht op elkaar staande dipolen (figuur 1a). Deze dipolen vormen de belichter van een 5 meter parabool (figuur 1b). Wanneer de komponenten van het bakensignaal langs de dipool-assen bekend zijn, dan is hieruit de hoek Ω te bepalen, immers:

$$\Omega = \arctan \frac{s_v}{s_h} \qquad (3)$$

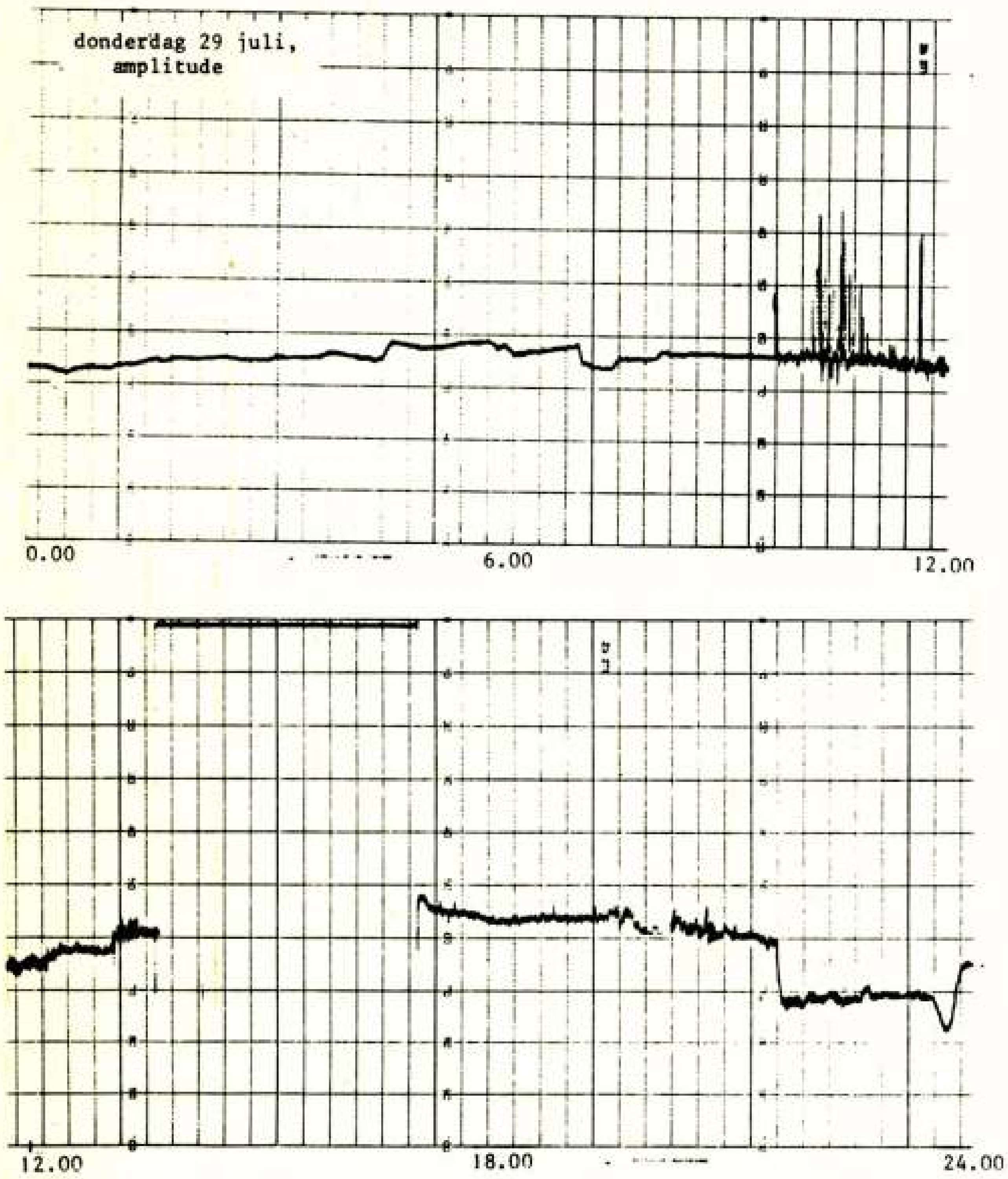
In de ontvanger moeten dus de amplitudes s_v en s_h gedetekteerd worden.
Bij het ontwerp van de ontvanger is er uitgegaan van het z.g. dubbelsuper principe. Het ontwerp is enigzins uitgebreid, omdat er twee amplitudes te detekteren zijn. In figuur 2 is de opbouw van de ontvanger weergegeven.
Het hart van de ontvanger wordt gevormd door de phase-lock-loop (PLL) schakeling op 10 MHz, waarmede synchrone amplitude detektie mogelijk is. Beide signaal componenten worden om en om via één midden-frekwent-tak van de ontvanger met een frekwentie van 100 Hz geschakeld en gedetekteerd. Het voordeel van deze methode is het feit, dat beide signalen precies evenveel worden versterkt.
Ter onderdrukking van de schakelfrekwentie van 100 Hz is de afsnijfrekwentie van het laag doorlaat filter in de synchrone detektor veel lager dan de schakelfrekwentie genomen (3 Hz). De andere midden-frekwent-tak zorgt voor de juiste referentie signalen voor de mixers en de synchrone detektoren. Omdat er tussen de twee takken fazeverschillen kunnen optreden, zijn er twee fazeverschuivers ($\Delta\phi_1$ en $\Delta\phi_2$) tussen de referentie en de synchrone detektor van de eerste tak opgenomen om dit te compenseren teneinde aan de synchrone detektor een referentiesignaal in de juiste faze (in faze met het te detekteren signaal) aan te bieden.
De bandbreedte van de ontvanger wordt bepaald door het laag doorlaat filter in de synchrone detektor en bedraagt 6 Hz, waardoor er toch een grote signaal-ruisverhouding wordt verkregen ondanks het zeer geringe ontvangen signaalvermogen van -122 dBm.
In figuur 3 is de werking van de gedetekteerde amplitudes gegeven om te komen tot de rotatiehoek Ω en de amplitude van het signaal.

RESULTATEN

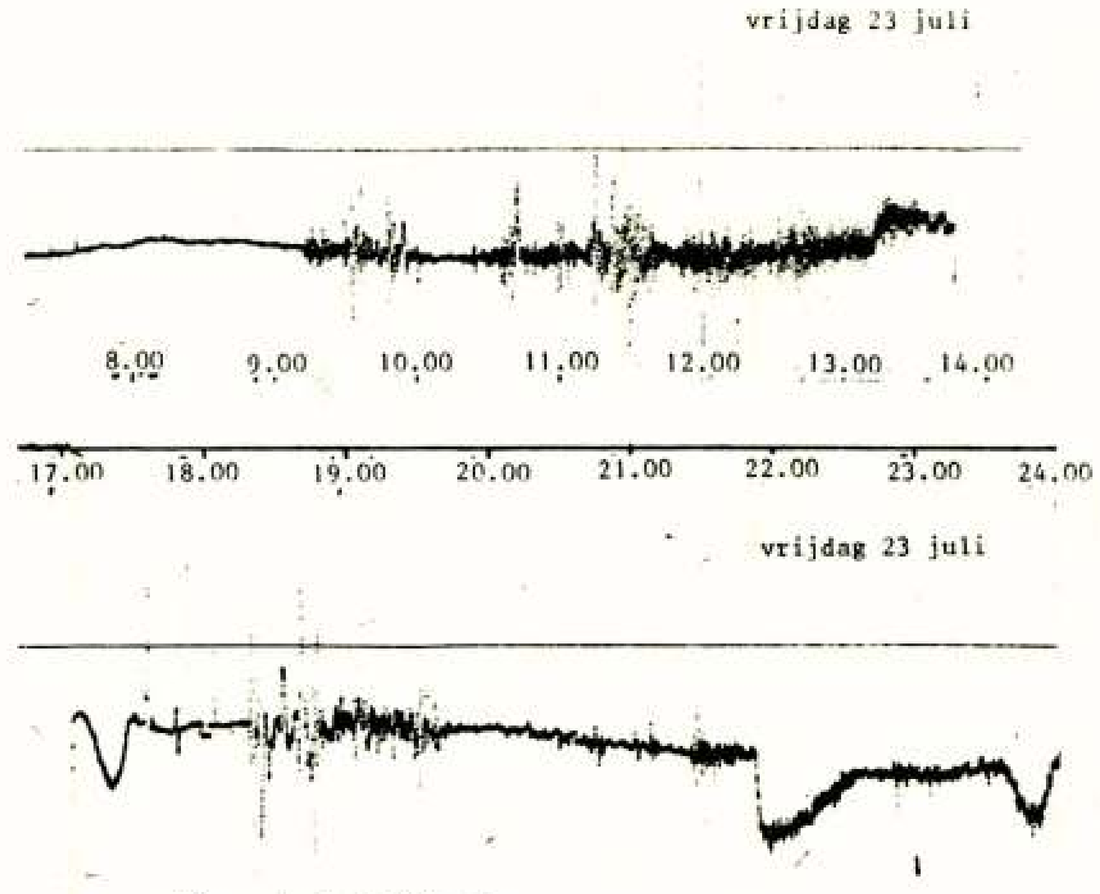
Een typisch verloop van de Faraday rotatie over een periode van één dag is gegeven in figuur 4 (29 juli 1976). De satelliet zond geen bakensignaal uit tussen ongeveer 13.30 en 17.00 uur. Elke dag is te verdelen in de volgende stadia (zie figuur 5):

- Een nachtplateau, van ± 23.00 tot ± 4.30 uur, waarin de rotatiehoek slechts langzaam afneemt met een bedrag van enkele graden per uur om een minimum te bereiken vlak voor zonsopkomst (4.30)
- Een periode van enkele uren, waarin de rotatiehoek toeneemt onder een min of meer constante helling van ± 15 graden per uur. Onder invloed van de zonnestraling neemt de totale hoeveelheid vrije elektronen in de ionosfeer lineair toe.
- Een dagplateau, van ± 8.00 tot ± 20.00 uur. Er wordt een evenwicht bereikt tussen het scheppen van elektronen en ionen door de zonnestraling en het recombineren van de elektronen en ionen. Het dagplateau kan een min of meer constant maximum te zien geven. Ook kunnen er soms twee of drie duidelijke maxima worden onderscheiden.
- Een periode van enkele uren na zonsondergang, waarin de rotatiehoek afneemt met een bedrag van ± 15 graden per uur. De totale hoeveelheid vrije elektronen neemt lineair af door het verdwijnen van de straling van de ondergegane zon. Het omgekeerde proces doet zich voor als in het tweede stadium (de periode na zonsopkomst).

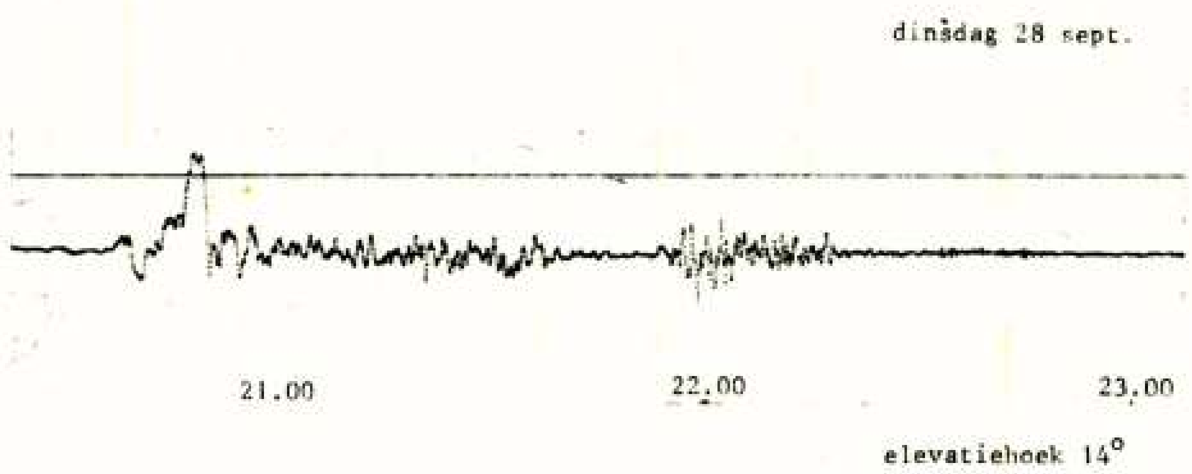
De bovengenoemde tijden veranderen van dag tot dag en zijn afhankelijk van het jaargetijde (tijdstip zonsopkomst en zonsondergang). Hier is een dag in het midden van de zomer genomen (29 juli 1976), waaruit de grote tijdsduur van het dagplateau te verklaren is.
Sommige variaties in de registraties van de Faraday rotatie zijn te wijten aan veranderingen in de stand van de ATS-6. Voor sommige experimenten wordt de ATS-6 op een bepaald doel gericht. Deze veranderingen zijn ook terug



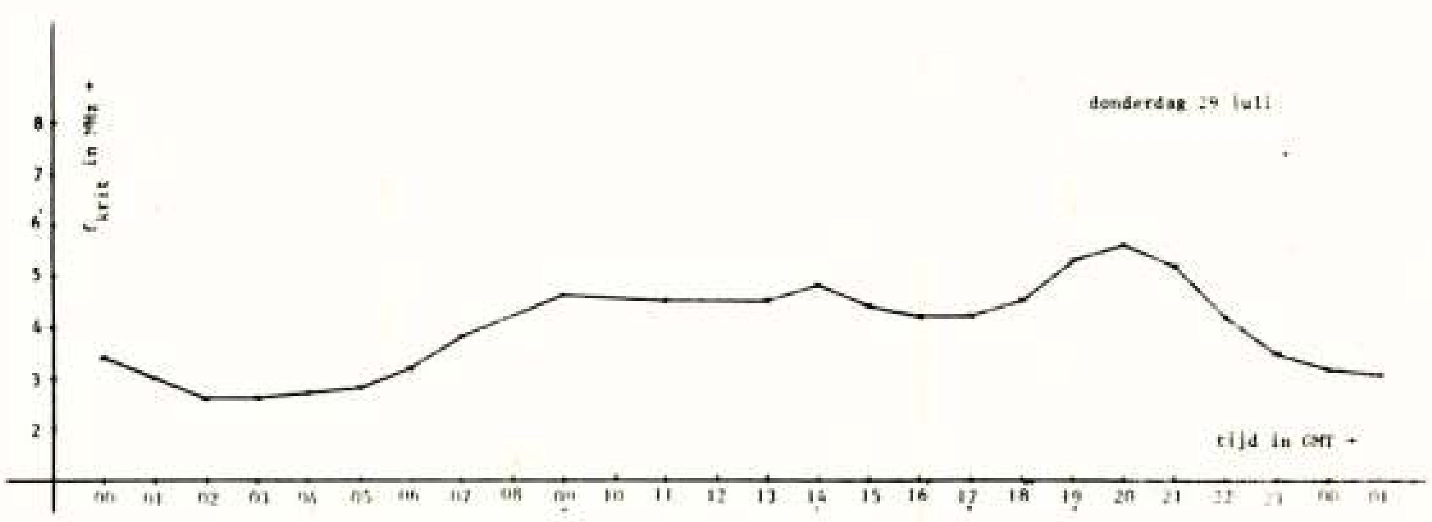
Figuur 6. Registratie van de amplitude van het bakensignaal op 29 juli 1976.



Figuur 7. Scintillatie.



Figuur 8. Mogelijkheid voor ontstaan van scintillatie.



Figuur 9. Verloop van f_oF_2 voor 29 juli 1976.

te vinden in de amplitude registraties van het signaal. Voor de periode van 23 juli t/m 6 augustus 1976 varieerde het verschil tussen het dagelijks minimum en maximum in de rotatiehoek tussen 40 en 70 graden. Naast de frekwentie afhankelijkheid (vergelijking 2) is dit verschil ook nog afhankelijk van het seizoen en de elfjarige zonnecyclus. Variaties in dit verschijnsel kunnen duiden op wisselingen in de totale hoeveelheid vrije elektronen, maar ook in de richting en grootte van het aardmagneetveld. Het profiel van de elektronen dichtheid speelt hierbij ook een rol.

In figuur 6 is de amplitude registratie van het signaal op 29 juli 1976 afgebeeld.

Wat direkt opvalt is, dat de amplitude op een konstante waarde blijft in tegenstelling tot de ritatiehoek. Ook is er op de amplitude scintillatie aanwezig, waarbij deze dag als een "rustige" dag gekenschetst moet worden. Deze perioden met scintillatie kunnen enkele malen per dag voorkomen. Opvallend is, dat er tijden zijn, waarin vaak en in hevige mate scintillatie voorkomt, terwijl er ook weken voorbij kunnen gaan, waarin niet of nauwelijks scintillatie geregistreerd kan worden. De grootte van de scintillatie ligt in de orde van 1 à 2 dB, waarbij maxima van 6 dB niet ongewoon zijn.

De oorzaak van deze scintillatie zijn onregelmatigheden in de elektronen dichtheid, waarbij er tussen de verschillende signaal komponenten, die uit de ionosfeer komen, interferentie optreedt.

In figuur 7 zijn er twee periodes met hevige scintillatie te zien van 23 juli 1976. Een bijzondere scintillatie is gegeven in figuur 8.

Als mogelijke oorzaak zou een sprong in het profiel van de ionosfeer aangewezen kunnen worden, die zich met een zekere snelheid voortbeweegt. Een deel van het signaal reflekteert tegen het vertikale deel. Eronder is een registratie afgebeeld, waar dit het geval is geweest. Zelden echter treedt er één onregelmatigheid op. Meestal volgen vele onregelmatigheden elkaar op, die van de scintillatie een zeer gecompliceerd geheel maken.

In het KNMI in De Bilt wordt de kritische frekwentie van de F_2-laag bepaald uit de ionogrammen, die elk half uur worden vastgelegd. Deze kritische frekwentie is evenredig met de wortel uit de maximale elektronen dichtheid in de F_2-laag. Omdat het maximum in de F_2-laag tevens het absolute maximum van de elektronen dichtheid in de ionosfeer is, is deze kritische frekwentie een maat voor de maximale dichtheid in de ionosfeer. In figuur 9 is deze kritische frekwentie uitgezet van 29 juli 1976. Vergelijking met de registratie van de Faraday rotatie op deze dag leert, dat er een grote mate van correlatie bestaat tussen deze twee verschillende metingen ondanks het feit, dat de rotatiehoek een maat is voor de totale hoeveelheid vrije elektronen en de kritische frekwentie voor de maximale dichtheid van de vrije elektronen in de ionosfeer. Een tweede verschilpunt is, dat in het KNMI in De Bilt de kritische frekwentie van de ionosfeer boven De Bilt wordt bepaald, terwijl het satellietsignaal schuin door de ionosfeer gaat (elevatiehoek 25 graden) en boven midden Frankrijk de maximale elektronen dichtheden (op een hoogte van 400 à 500 km) kruist. Klaarblijkelijk is het profiel van de ionosfeer over grote afstanden op dezelfde lengtegraad gelijkvormig en is het verband tussen het toenemen van de maximale elektronen dichtheid en de toename van de totale hoeveelheid vrije elektronen erg groot.

SLOT

Al tientallen jaren vindt er op grote schaal onderzoek van de ionosfeer plaats, welke zo belangrijk is voor het radioverkeer op de korte golf en welke tot in de UHF-band toe de communicatie met satellieten beïnvloedt. Sinds het bestaan van satellieten is een extra dimensie aan het onderzoek toegevoegd. Met het radio baken experiment van de ATS-6 is deze onderzoekmethode vervolmaakt.

Een van de voordelen is de grote gevoeligheid ten opzichte van andere methoden, bij voorbeeld de meting van de kritische frekwentie. Kontinue registratie en direkte interpretatie van de resultaten is mogelijk gebleken. Reeds bekende resultaten zijn bevestigd en misschien zijn er ook enkele nieuwe gezichtspunten aan toegevoegd.

DANKBETUIGING

Schrijver van dit artikel heeft de beschreven studie uitgevoerd als afstudeerprojekt binnen de vakgroep Communicatiesystemen van de Afdeling Elektrotechniek aan de THE, en dankt prof. ir. B. van Dijl, ir. J. Dijk en dr. E.J. Maanders voor de mogelijkheid die zij hem hebben geboden deze studie te verrichten.

LITERATUUR

(1) J.E. Titheridge, Determination of Ionospheric Electron Content from the Faraday Rotation of Geostationary Satellite Signals, Planetary Space Science 1972, vol. 20, pag. 353-369.

(2) Prof. dr. H. Bremmer, Atmosferisch onderzoek met behulp van radiogolven, Collegediktaat uitgave sept. 1971, T.H. Eindhoven.

(3) IEEE, Transactions on Aerospace and Electronic Systems, no. 6, november 1975.

Voordracht gehouden op 1 december 1976 op de THE tijdens een gemeenschappelijke vergadering van het NERG (no. 260) de Sectie Telecommunicatie-Techniek van het KIvI en de Benelux section IEEE.

VAN HET BESTUUR

Er wordt op gewezen dat aan leden die de tijdschriften van The Institution of Electrical Engineers (IEE) bestellen via het secretariaat van ons genootschap, 25% korting wordt verleend.

REDUCTIE ABONNEMENTSKOSTEN VAKBLAD JASE, Section A (Journal of APPLIED SCIENCE AND ENGINEERING; SECTION A, Electrical power and information systems).
Het blad wordt uitgegeven door Elsevier en het KIvI, met medewerking van het NERG. Er is thans één jaargang verschenen. Het NERG-bestuur brengt nogmaals onder de aandacht van de leden dat zij zich kunnen abonneren tegen de sterk gereduceerde prijs van f 30,--. NERG-leden die niet tevens lid zijn van het KIvI kunnen zich opgeven bij de Administratie van het NERG, postbus 39, 2260 AA Leidschendam.

VARIA

De Westduitse natuurkundige, auteur en journalist Eduard Rhein (76) heeft in Hamburg een stichting opgericht om het wetenschappelijk onderzoek van televisie een nieuwe impuls te geven. Jaarlijks zal de Eduard Stichting, die thans een kapitaal beheert van twee miljoen Mark, een prijs van honderdduizend Mark uitloven aan de onderzoeker die een belangrijke bijdrage heeft geleverd aan verbetering van het beeldkwaliteit en in het bijzonder aan de ontwikkeling van het vlakke beeldscherm. Een internationale jury onder leiding van Prof. dr. E.H. Walter Bruch zal uitmaken wie voor deze prijs in aanmerking komt. Voorts behoren tot de jury, Josepf Polonsky (Thomson-CSF), dr. F.W. de Vrijer (Natuurkundig Laboratorium Philips), James Hillier (RCA) en Prof. Karl Tezner (hoofd-redacteur Funkschau).
Kandidaten voor de prijs kunnen alleen door personen of instituten die zelf betrokken zijn bij het onderzoek van televisie, worden voorgedragen. Ook meerdere personen kunnen met de prijs worden onderscheiden. De inzenddatum voor het noemen van kandidaten sluit op 15 september 1977. Nadere informatie is te verkrijgen bij de Eduard Rhein Stichting, Klopperstieg 3, 2000 Hamburg 67, Bondsrepubliek Duitsland.

UIT HET NERG

VOORLOPIG PROGRAMMA

23/9, Intelligentie in meetinstrumenten. "Het Instrument" Amsterdam. Organisatie door Prof.ir. v.Schooneveld en Ir. J.H. Huysing.

ca. 25/10, Glasvezeltransmissie, T.H. Eindhoven. Organisatie door Dr.ir.E.J.Maanders en Ir. G.J.A. Arink.

November. Nieuwe ontwikkelingen in de straalverbindingstechniek (EZB; digitale modulatie). DNL Leidschendam. Organisatie door Ing. J.W.A.v.d.Scheer.

LEDENMUTATIES

Voorgestelde leden

Ir. C. Beekhuizen, Cederdreef 26, Vlaardingen.
Dr.ir. T.A.C.M. Claasen, Drossaardstraat 20, Geldrop.
A.C.S. de Jager, De Geelgieter 20, Veldhoven N.B.
Ir. W.C. Nuijen, Couwenhoven 63-06, Zeist.
F. van Terwisga, Urkhovenseweg 370, Eindhoven.
Ir. M.H. Twigt, Juliana van Stolberglaan 9, Vlaardingen.
Ir. L. Tijben, Merelstraat 12, Leiden.
Ir. G. Verkroost, Molenkamp 8, Mierlo N.B.
Ir. L.R.G. Versfeld, Gen. Bothastraat 19, Eindhoven.
Ing. J.M.H. Wagemans, Samarialaan 73, Eindhoven.

Nieuwe leden

Ir. T. Feitscher, le Passeerderdwarsstraat 26, Amsterdam.
Dr. H. Hasper, Hoofdweg 53, Eelde.
Prof.ir. O.W. Memelink, Vanekerstraat 275, Enschede.
Ir. L.J. Tummers, Eversveld 11, Geldrop.

Nieuwe adressen van leden

Ir. C.B. Dekker, De Wever 78, Veldhoven N.B.
Ir. J.H. Dijk, Hoevebrink 5, Zwolle.
Ir. P. van Dijk, Olmebeek 6, Veldhoven N.B.
Ir. J.A.W. Gelens, Krefeldlaan 10, Leiden.
Ir. P.B. Hesdahl, Langenakker 65, Mierlo N.B.
Ir. R.W.P. Kerkenaar, Marjoleinlaan 66, Wierden.
Ir. W.F. Pinkse, Burg. Wesselinkstraat 229, Maassluis.
Ir. G.A. Schwippert, Dijkerwaal 5, Pijnacker.
Ing. G.J. van Velzen, Patellabank 8, Leiden.
Ir. R.G. van Vliet, Gen. Coenderslaan 21, Eindhoven.

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

Inhoud

deel 42 - nr. 3 - 1977

druk: Het Zuiden Eindhoven